



**Iana Mocanu**

Licenciada em Ciências da Engenharia e Gestão Industrial

**Modelação de um sistema de  
rastreamento para a melhoria da  
qualidade de componentes eletrónicos  
na indústria automóvel**

Dissertação para obtenção de grau de Mestre em  
Engenharia e Gestão Industrial

Orientador: Pedro Emanuel Botelho Espadinha da Cruz,  
Professor Auxiliar Convidado, FCT-UNL

Co-orientador: Ana Sofia Leonardo Vilela de Matos,  
Professora Auxiliar, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Alexandra Maria Baptista Ramos Tenera

Vogais: Prof. Doutor Izunildo Fernandes Cabral

Prof. Doutor Pedro Emanuel Botelho Espadinha da Cruz



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Setembro, 2018**



## **Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel**

Copyright © Iana Mocanu, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## Agradecimentos

Antes de mais gostava de agradecer aos meus dois orientadores, Professor Pedro Espadinha e Professora Ana Sofia, pela coordenação e paciência que tiveram comigo, e por me compreenderem nos momentos de maior dificuldade. Sei o quão teimosa e preguiçosa posso ser!

Pela entidade que me acolheu, a *Delphi*, por me ter proporcionado este tema e principalmente por me ter dado a oportunidade de, por breves momentos, ter feito parte desta empresa. Não posso deixar de agradecer em particular ao Engenheiro Rui Cerqueira, incansável para me sentir integrada e confortável, bem como, paciente em todas as mil e uma perguntas repetidas que eu fazia.

Um enorme obrigada ao André, por me chamar à terra inúmeras vezes, por um apoio incondicional e por me lembrar sempre que eu sou capaz. Aos meus pais que estiverem sempre, sempre lá para mim, com muitos mimos e com a pergunta diária: “então e a tese, Iana? Como vai?”. Por todos os esforços que fizeram por mim, um “obrigada” nunca vai ser suficiente. Um especial agradecimento à minha irmã, o meu maior pilar e inspiração, já tinha desistido há muito tempo se não fosse o pequeno gesto de ela me pegar com as mãozinhas e me dizer que tem muito orgulho em mim. Ao meu Bob, o meu refúgio.

Não podia deixar de referir os meus amigos, que a bem ou mal, me encorajaram a seguir em frente com este tema. Uma aposta ali, uma aposta acolá, de como iria acabar, ou não, a tempo. Acho que ganhei uns jantares e uns “euritos”!



## Resumo

A indústria automóvel é uma das indústrias mais competitivas do mercado pois é caracterizada por uma grande procura e elevadas margens de lucro. A vantagem competitiva torna-se uma das principais preocupações neste ramo e a tecnologia é um dos maiores aliados para elevar a qualidade dos produtos entregues ao cliente final, reduzir os custos e aumentar a margem de lucro.

O *recall* dos produtos é o ponto mais frágil das indústrias automóveis pois podem ter consequências em termos legais, o degradamento da imagem da empresa, bem como, grandes perdas a nível financeiro. Um bom sistema de rastreabilidade permite que o risco de *recall* diminua, ou pelo menos amenize os seus impactos, permitindo a visualização dos seus produtos em toda a sua linha de produção até ser entregue ao seu cliente final. A tecnologia emergente *Auto-ID*, de onde se destacam a identificação por RFID, 2D ou até mesmo o convencional 1D, permite registar e gerir, por meio desses dispositivos, toda a informação que é inserida num sistema informático sem qualquer intervenção humana.

De forma a garantir o compromisso com a qualidade para com o cliente final, é proposta a modelação de um sistema de informação de suporte à rastreabilidade, através da integração de ferramentas de modelação de Sistemas de Informação (SI) com a Análise Modal de Falhas e Efeitos (AFME).

Para testar a proposta, foi realizado um caso de estudo na *Delphi* onde se examinou o sistema de rastreabilidade de 8 400 bobinas de ignição produzidas diariamente. Sabendo *a priori* que o sistema de rastreio não era eficiente, foi sugerido uma proposta de melhoria. Esta proposta provou que a integração de tecnologias *Auto-ID*, em substituição ao rastreio manual simplificava o processo de rastreio e de produção na linha, garantindo a qualidade dos produtos entregues ao cliente final.

**Palavras-chave:** BPMN, Rastreabilidade, Modelação, Gestão da Qualidade, AFME, *Auto-ID*





# Abstract

The automotive industry is one of the most competitive industries on the market as it is characterized by high demand and high profit margins. Competitive advantage becomes a major concern in this field and technology is one of the greatest allies to raise the quality of products delivered to the end customer, reduce costs and increase profit margin.

Recalling products is the weakest point in the automotive industry as it can have legal consequences, a deterioration of the company's image, as well as large financial losses. A good traceability system allows the risk of recall to decrease, or at least mitigate its impacts, allowing you to view your products throughout your production line until delivered to your end customer. Emerging Auto-ID technology, such as RFID, 2D or even the conventional 1D identification, allows to record and manage, through these devices, all the information that is inserted into a computer system without any human intervention.

In order to guarantee the commitment to quality towards the end customer, it is proposed the modeling of an information system to support traceability, through the integration of SI modeling tools with FMEA.

In order to test this proposal, a case study was carried out at Delphi, which examined the traceability system of 8 400 ignition coils produced daily. Knowing priori that the traceability system was not efficient, a proposal for improvement was suggested. This proposal proved that the integration of Auto-ID technologies, instead of manual tracing, simplified the on-line screening and production process, guaranteeing the quality of products delivered to the final customer.

**Key words:** BPMN, Traceability, Modelling, Quality Management, FMEA, auto-ID



# Índice Geral

1. Introdução.....	1
1.1. Âmbito .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.3. Metodologia .....	4
1.4. Estrutura da Dissertação .....	7
2. Revisão Bibliográfica .....	9
2.1. A vantagem competitiva no contexto dos Sistemas de informação para a indústria .....	9
2.2. Rastreabilidade.....	11
2.2.1. Definição .....	12
2.2.2. Tipos de rastreabilidade .....	14
2.2.3. Importância da rastreabilidade .....	14
2.2.4. Rastreabilidade na Indústria Automóvel .....	16
2.3. <i>Lean</i> no contexto da indústria automóvel.....	17
2.4. Retrabalho .....	19
2.5. <i>Recall</i> .....	20
2.6. Tecnologias emergentes no apoio à rastreabilidade .....	22
2.6.1. Código de Barras .....	24
2.6.2. <i>Data Matrix Code</i> .....	24
2.6.3. <i>Radio Frequency Identification</i> .....	26
2.6.4. Comparação entre RFID, <i>Data Matrix</i> e Código de Barras .....	28
2.7. Rastreabilidade no Contexto da Gestão da Qualidade .....	28
2.7.1. Ferramentas de Gestão da Qualidade .....	30
2.7.2. Análise Modal de Falhas e Efeitos .....	32
2.7.2.1. Aplicação da Análise Modal de Falhas e Efeitos.....	34
2.8. Modelação - <i>Unified Modelling Language</i> .....	36
2.8.1. Diagrama de caso de uso .....	37

2.8.2.	Diagrama de classes.....	38
2.8.3.	<i>Business Process Model and Notation</i> .....	40
3.	Caso de Estudo .....	44
3.1.	Caracterização da empresa.....	44
3.2.	Sistema de produção das bobinas de ignição.....	44
3.3.	Caracterização do problema.....	47
3.4.	Sistema de rastreio da Delphi.....	49
3.5.	Modelo de Análise .....	51
4.	Identificação do problema.....	55
4.1.	Diagrama em árvore .....	55
4.2.	Análise Modal de Falhas e Efeitos.....	55
4.2.1.	Priorização dos modos de falha (Diagrama de <i>Pareto</i> ) .....	59
4.3.	Modelação do processo de produção .....	60
4.3.1.	BPMN (Geral, Retrabalho e <i>Recall</i> ).....	60
4.3.2.	Diagramas de Caso de Uso (Geral, Retrabalho e <i>Recall</i> ) .....	65
4.3.3.	Diagrama de Classes.....	67
5.	Proposta de melhoria.....	69
	Conclusões e recomendações para trabalhos futuros.....	83
	Referências .....	87
	Anexo .....	1
	BPMN Geral <i>as-is</i> .....	1
	BPMN retrabalho <i>as-is</i> .....	2
	BPMN Geral <i>to-be</i> .....	3
	BPMN retrabalho <i>to-be</i> .....	4

# Índice de Figuras

Figura 1.1 O que diferencia o método dedutivo do método indutivo.....	4
Figura 1.2 Metodologia .....	5
Figura 2.1 As 3 atividades básicas que produzem a informação que uma organização necessita .....	9
Figura 2.2 Modelo das 5 forças de Porter .....	10
Figura 2.3 Evolução do rastreio pelo código de barras .....	13
Figura 2.4 Os 7 desperdícios do lean .....	19
Figura 2.5 Estrutura do código de barras.....	24
Figura 2.6 Estrutura Geral do código DMC .....	25
Figura 2.7 Formas possíveis do código 2D .....	26
Figura 2.8 Fluxo de informação entre os componentes da tecnologia RFID .....	27
Figura 2.9 Simbologia do fluxograma.....	31
Figura 2.10 Conexão entre o fluxograma, a AMFE do processo e o Plano de Controlo .....	32
Figura 2.11 Relação entre o modo de falha, a causa, o efeito e os controlos de prevenção e deteção .....	33
Figura 2.12 Exemplo dos 3 tipos de AMFE e a sua relação .....	33
Figura 2.13 Representação gráfica de uma classe .....	39
Figura 2.14 Componentes do Diagrama BPMN .....	42
Figura 3.1 Bill Of Materials da bobina de ignição .....	45
Figura 3.2 Fluxograma referente ao processo produtivo da bobina de ignição.....	46
Figura 3.3 Hierarquia da linha de produção das bobinas .....	47
Figura 3.4 Fluxo dos objetos de rastreio .....	51
Figura 3.5 Esquematização do modelo do caso de estudo .....	52
Figura 3.6 Modelo de análise.....	52
Figura 4.1 Diagrama em árvore .....	55
Figura 4.2 Diagrama de Pareto do processo atual .....	60

Figura 4.3 BPMN Geral as-is .....	61
Figura 4.4 BPMN do rework as-is .....	63
Figura 4.5 BPMN recall as-is .....	64
Figura 4.6 Diagrama de Caso de uso do processo geral as-is .....	66
Figura 4.7 Diagrama de uso recall as-is.....	66
Figura 4.8 Diagrama de uso de retrabalho as-is .....	66
Figura 4.9 Diagrama de classes as-is .....	67
Figura 5.1 Diagrama de Pareto do NPR futuro.....	72
Figura 5.2 BPMN Geral to-be.....	73
Figura 5.3 BPMN retrabalho to-be .....	74
Figura 5.4 BPMN recall to-be.....	75
Figura 5.5 Diagrama de uso geral <i>to-be</i> .....	76
Figura 5.6 Diagrama de uso retrabalho to-be.....	76
Figura 5.7 Diagrama de uso <i>recall to-be</i> .....	77
Figura 5.8 Diagrama de classes to-be .....	78
Figura 5.9 Fluxograma das atividades administrativas dos operários e do Laboratório da Qualidade as-is .....	79
Figura 5.10 Fluxograma das atividades administrativas dos operários e do Laboratório da Qualidade proposto to-be.....	79
Figura 5.11 Representação da Etiqueta com Código 2D e a base de dados após a leitura do código .....	80
Figura 5.12 Layout simplificado do processo de rastreio as-is .....	81
Figura 5.13 Layout simplificado do processo de rastreio após implementação do código 2D (to-be) .....	81

## Índice de tabelas

Tabela 2.1 Importância de um sistema de rastreio de acordo com as diferentes áreas no contexto da indústria.....	15
Tabela 2.2 Custos diretos e indiretos relacionados com o recall.....	22
Tabela 2.3 Sistemas que melhoram o rastreio de uma organização .....	23
Tabela 2.4 Tabela de comparação entre as Tecnologias de Rastreabilidade .....	28
Tabela 2.5 Índice de gravidade dos efeitos.....	35
Tabela 2.6 Índice de ocorrência consoante a sua Probabilidade ((P(O)).....	36
Tabela 2.7 Índice de deteção consoante a probabilidade de o produto chegar com defeito ao cliente.....	36
Tabela 2.8 Simbologia do diagrama de caso de uso.....	38
Tabela 3.1 Os vários cenários possíveis de problemas onde é necessário um rastreio eficiente .....	49
Tabela 3.2 Descrição do Modelo de Análise .....	53
Tabela 4.1 AMFE do processo atual .....	57
Tabela 4.2 Priorização dos Potenciais Modos de Falha.....	59
Tabela 5.1 AMFE do processo de ações de melhoria.....	69
Tabela 5.2 Priorização dos Potenciais Modos de Falha com as melhorias aplicadas .	71





## Lista de abreviaturas e siglas

**AIAG** – *Automotive Industry Action Group*

**ASCII** – *American Standard Code for Information Interchange*

**ASME** – *American Society Of Mechanical Engineers*

**Auto-ID** – *Automatic Identification*

**BD** – Base de Dados

**BOM** – *Bill Of Materials*

**BPD** – *Business Process Diagrams*

**BPMN** – *Business Process Model Notation*

**BSE** – Encefalopatia Espongiforme Bovina

**D** – Detecção

**DMC** – *Data Matrix Code*

**ERP** – *Enterprise Resource Planning*

**FDA** – *Food and Drug Administration*

**FMEA** – *Failure modes and effects analysis*

**FTA** – *Fault Tree Analysis*

**G** – Gravidade

**HF** – *High Frequency*

**IATF** – *International Automotive Task Force*

**ISO** – *International Organization for Standardization*

**IBM** – *International Business Machines Corporation*

**LF** – *Low Frequency*

**MES** – *Manufacturing Execution System*

**NASA** – *National Aeronautics and Space Administration*

**O** – Ocorrência

**OEM** – *Original Equipment Manufacturer*

**OMG** – *Object Management Group*

**PIB** – Produto Interno Bruto

**QR Code** – *Quick Response Code*

**SI** – Sistemas de Informação

**RFID** – *Radio Frequency Identification*

**UHF** – *Ultra High Frequency*

**UML** – *Unified Modelling Language*

**VDA** – *Verband der Automobilindustrie*

**WIP** – *Work in Process*

**XML** – *eXtensible Markup Language*

**WLAN** – *Wireless local area network*

# 1. Introdução

## 1.1. Âmbito

A indústria automóvel é, em Portugal, um importante motor de investigação e desenvolvimento, que evoluiu para um estado mais moderno e competitivo. Segundo dados da Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel, este sector é responsável por uma grande fatia do PIB português, não só devido às exportações, como também devido ao grande número de trabalhadores que abrange. A produção de componentes é o sector mais significativo e que representa mais de 42 000 postos de trabalho. O volume de negócios para a atividade elétrica e eletrónica é um dos mais elevados, a seguir à atividade metalúrgica e metalomecânica, de aproximadamente 29%. É por isso que se pode afirmar que o ramo automóvel é um sector “verdadeiramente estratégico para Portugal”, daí ter-se notado um crescente interesse no investimento deste sector, como por exemplo, em projetos de expansão ou procura de novas localizações (Ascensão, 2017).

Dados como os anteriores levam a entender que, por de trás do grande desenvolvimento, existe ao mesmo passo, um aumento da competitividade entre as empresas. Segundo Porter (1985), a vantagem competitiva resume-se a duas funções: baixo custo ou diferenciação, isto é, ou uma organização fornece produtos a um baixo custo, mas mais eficiente do que o seu competidor, ou então, este é diferenciador, na medida em que fornece produtos únicos para o cliente final. Quando se fala do ramo da indústria em que se produzem quantidades em massa de um determinado produto, a maioria das vezes aplica-se a função do baixo custo. O pensamento que rege as linhas de produção é em torno da redução de custos de produção. Tal pode ser atingindo de diversas formas, como na redução de tempo ou de recursos. A maior dificuldade é, portanto, manter os custos reduzidos aumentando a satisfação do cliente, que se tem tornado cada vez mais exigente, tanto a nível de qualidade como a nível de custos e prazos (Fleischmann, 2000).

A qualidade é um fator fulcral para o sucesso de uma empresa, por isso esta necessita de um sistema de Gestão de Qualidade bem estruturado e organizado. A rastreabilidade é um dos pontos mencionados na norma EN ISO 9000: 2015 (3.6.13) que define como a “aptidão para seguir a história, aplicação ou localização de um objeto”, de forma a assegurar a conformidade do mesmo (APCER GROUP, 2015). A rastreabilidade na indústria permite que a organização acompanhe todas as fases de

fabricação, permitindo desta forma, garantir a qualidade do produto e produtividade da linha de produção (Monette & Bogart, 2009).

De forma a que se pratique uma rastreabilidade eficiente, esta pode ser aliada a sistemas de informação que vão permitir armazenar toda a informação essencial que ocorre ao longo de um processo de fabrico. Assim, quando é necessário obter algum tipo de esclarecimento sobre um determinado componente ou lote, tal pode ser acedido através de uma base de dados (condições de fabrico, data de fabrico, data de inspeção, operador, parâmetros, etc.). A identificação é feita através de diferentes meios como etiquetas, código de barras, referências ou códigos específicos que são inseridos numa base de dados através de *softwares* específicos da própria organização. Muitas das vezes a identificação é um requisito interno, mas também pode ser do próprio cliente. Assim é possível observar o caminho inverso do componente desde o seu ponto de partida dentro da sua própria linha de produção.

Entidades como *Verband der Automobilindustrie* (VDA), *International Automotive Task Force* (IATF) e *Automotive Industry Action Group* (AIAG) asseguram a gestão da qualidade da indústria automóvel através de normas e auditorias externas feitas às indústrias desse sector que têm como base a norma ISO 9001: 2015. Todas estas entidades têm o rastreio como um requisito importante. Os próprios consumidores finais possuem sistemas de rastreabilidade para terem acesso ao histórico de todos os componentes e assim, em caso de não-conformidade, saberem a origem da mesma (Segura Velandia, Kaur, Whittow, Conway, & West, 2016).

Quando os objetos estão *out of spec*, isto é, não estão conforme as especificações e podem causar algum problema ao consumidor final, têm que ser “chamados” (*recall*) de volta à origem. Esta situação normalmente ocorre por diferentes razões como por exemplo, erro humano ou falha das máquinas (Morán, Mcfarlane, & Loucaides, 2004).

Por norma, um *recall* envolve um ou mais lotes em que se encontra um artigo *out of spec*. Saber exatamente quais são os lotes que contém este tipo de não conformidade é de extrema importância pois as consequências em termos de custos podem ser incrivelmente altos, já para não falar da imagem e credibilidade da organização (Monette & Bogart, 2009).

Um outro fator importante da rastreabilidade é o retrabalho, que acontece quando as peças saem não conformes, mas são identificadas aquando da produção e conseguem ser melhoradas, automaticamente ou manualmente, podendo voltar para a linha de produção normal. A identificação e monitorização destas peças de retrabalho é igualmente um requisito importante da qualidade dos produtos (Morán et al., 2004).

Sendo assim, é legítimo afirmar que a monitorização e registo de todo o histórico de peças que passam por vários processos de fabrico são processos fulcrais numa unidade fabril. Esta monitorização deve ser precisa e fornecida atempadamente. Tal é alcançado através de identificações automáticas ao invés de registo manual, pois segundo Sharp (1990), pessoas qualificadas, quando registam manualmente, enganam-se em 1 em cada 300 caracteres inseridos quando trabalham com formas legíveis, portanto, quando se opta por um sistema automático o erro humano é eliminado (Howorth, 1997). Os avanços tecnológicos de 1960 e 1970 permitiram que a problemática do registo manual dos dados devido ao erro humano fosse diminuída (Moss, Chakrabarti, & Scott, 2013).

É no contexto da rastreabilidade em situações de retrabalho e *recall* que se insere esta dissertação, bem como na automatização da rastreabilidade numa linha de produção de componentes eletrónicos no sector da indústria automóvel.

## 1.2. Objetivos

Esta dissertação tem como objetivo geral investigar como implementar um sistema de rastreio eficiente numa unidade fabril com produção em tempo real de componentes e como integrar esse sistema no contexto já existente da fábrica. Tem, portanto, como finalidade melhorar a qualidade dos componentes produzidos entregues ao cliente final garantido que a rastreabilidade antecipada das peças permita entregar produtos conformes.

O propósito é de, com o auxílio das ferramentas da qualidade, entender onde os sistemas de rastreio podem falhar ao longo de uma linha de produção e, através de modelação, melhorar o sistema atual para um mais eficiente tomando partido da automatização.

Sabendo que a automatização do sistema de rastreamento é uma mais valia para o ambiente fabril, os objetivos mais específicos desta dissertação são: (i) analisar e organizar os dados necessários para o bom funcionamento do sistema de rastreio dos objetos a serem monitorizados; (ii) implementar um sistema de rastreio automatizado que substitua o convencional sistema manual; (iii) analisar o processamento de *recall* e retrabalho e propor uma melhoria de rastreio das peças que sofrem esses processos, e por fim, (iv) comparar o cenário anterior ao proposto.

### 1.3. Metodologia

Metodologia vem do grego *méthodos* o que significa caminho e *logia* de estudo, ou seja, é o estudo dos vários caminhos possíveis para se realizar uma pesquisa (Vilelas, 2017). Existem duas vias essenciais para o processo de criação de conhecimento científico, nomeadamente a partir de dados ou observação e a partir de teorias ou postulados teóricos (Martins & Belfo, 2011).

O método científico vai ser a linha de raciocínio ao longo da investigação e os métodos que fornecem as bases lógicas à pesquisa são o dedutivo, o indutivo, o hipotético-dedutivo, o dialético e fenomenológico (Vilelas, 2017).

O método dedutivo deriva de uma teoria ou premissa geral para uma particular, isto é, a partir de uma compreensão geral compreendemos um caso específico. Já o método indutivo deriva de observações e experiências, ou seja, de casos particulares e generalizamos à conceção de uma hipótese (Pocinho, 2012). A relação que existe entre as duas metodologias está exemplificada na Figura 1.1.

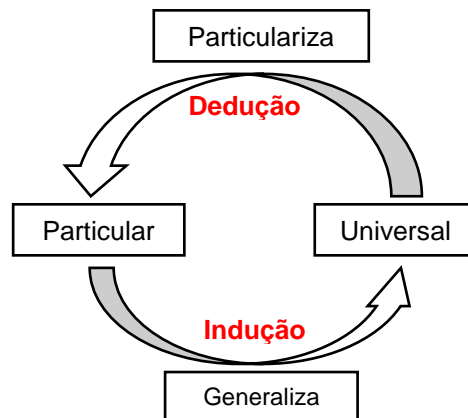


Figura 1.1 O que diferencia o método dedutivo do método indutivo

No método hipotético-dedutivo baseia-se em eliminar tudo o que é falso de uma hipótese até chegar à sua verdade, isto é, testam-se as várias ideias à falsidade até provar uma verdade. Este método foi proposto por Karl Popper, filósofo austríaco (Silveira, 1989).

Já o método fenomenológico foi primeiramente idealizado por Edmund Husserl e consiste na importância dos fenómenos da consciência, isto é, atendendo-se ao humor, sensações e emoções para compreender alguma experiência real. Todo o

conhecimento que tivermos da experiência provém desses mesmos fenómenos da consciência (Siani, Correa, & Casas, 2016).

Todos estes métodos de investigação não são perfeitos, mas alguns adequam-se mais a um caso do que a outro (Martins & Belfo, 2011). Para atingir os objetivos acima mencionados foram realizados vários passos que estão apresentados na Figura 1.2. O desenvolvimento da dissertação baseou-se no método indutivo, isto é, as constatações particulares levaram à elaboração de generalizações (Gil, 1999; Lakatos, Eva Maria; Marconi & Andrade, 1991).

*“Partindo de premissas particulares, inferimos uma verdade geral.”*

Bacon (1561-1626)

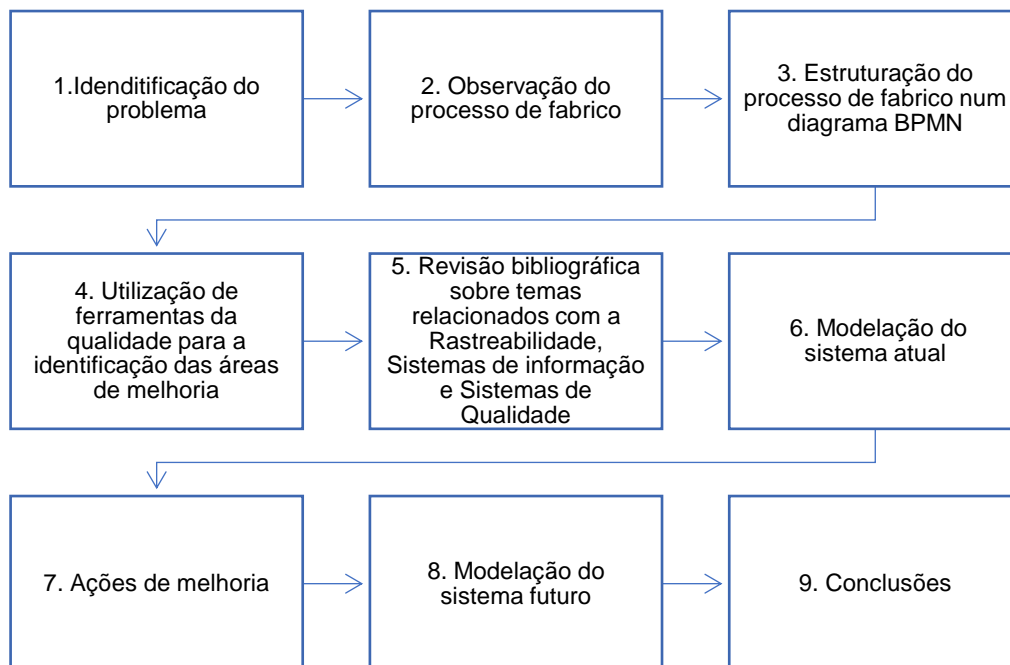


Figura 1.2 Metodologia

Na **fase 1** foi proposto o desenvolvimento da dissertação por parte da empresa na área da rastreabilidade, ao qual expôs o problema em causa relativo ao rastreamento de uma linha de produção de um determinado artigo.

A **fase 2** consistiu na observação e levantamento de dados sobre o processo de fabrico e o processo de rastreamento do artigo em questão.

A **fase 3** consistiu na estruturação do processo de fabrico através de um fluxograma geral, onde se identificou a parte do processo mais crítica quanto ao

rastreamento do objeto, e de um diagrama BPMN geral, onde se modelaram os aspetos funcionais do processo.

Na **fase 4** recorreu-se a ferramentas da qualidade que permitissem identificar os problemas-raízes bem como identificar as áreas que necessitavam de ações de melhoria.

Na **fase 5** passou-se para a revisão bibliográfica sobre o rastreamento, nomeadamente sistemas de rastreamento mais eficiente e como o rastreamento influencia a qualidade do processo de fabrico. É nesta fase que se começa o processo indutivo, ao qual, após a leitura de livros, artigos científicos, dissertações de mestrado/doutoramento e a consulta de alguns *sites*, se fez uma generalização a partir de casos e factos particulares. Os tópicos chave que regiram a dissertação foram relacionados com rastreabilidade em ambiente fabril e como isso influencia a qualidade dos processos. A importância e os métodos para melhorar a rastreabilidade em processo contínuo também foram tópicos importantes a serem pesquisados. Muitos dos artigos encontrados foram relativos à rastreabilidade na indústria alimentar, o que provou ser um assunto crucial nos dias de hoje pois existe um controlo cada vez mais exigente quanto aos alimentos que consumimos. Artigos mais recentes sobre a rastreabilidade normalmente envolvem a tecnologia RFID e a sua implementação. É importante referir que são poucos os artigos referentes aos processos de fabrico contínuo na área da rastreabilidade, sendo mais comum na melhoria da cadeia de abastecimento dos produtos e visualização dos mesmos nos armazéns.

Na **fase 6** recorreu-se à modelação do sistema de forma a entender as relações que existem entre as diferentes entidades do sistema de rastreio, bem como, identificar os pontos-chave onde a recolha de informação é relevante para um sistema de rastreio eficiente.

Na **fase 7**, após todas as ideias retiradas da investigação bibliográfica, e após uma avaliação de quais as melhores medidas a tomar tendo em conta o sistema atual, aplicaram-se ações de melhoria.

Na **fase 8** é feita a modelação do sistema futuro com as medidas de melhoria, comparando os dois cenários, “*as-is*” e o “*to-be*”.

Na **fase 9**, após a comparação dos dois cenários, tira-se conclusões sobre as melhorias propostas.



## 1.4. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação divide-se em 5 capítulos: Revisão bibliográfica, caso de estudo, Identificação do problema e as Conclusões e recomendações para trabalhos futuros.

### **Capítulo 1:** Introdução

Neste capítulo é apresentado a motivação e os principais objetivos que regem o desenvolvimento da dissertação. A metodologia aplicada é também neste capítulo explicada.

### **Capítulo 2:** Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica é feita com o intuito de obter o maior conhecimento sobre os sistemas de rastreio e métodos que se aplicam de momento em contexto de produção contínua.

### **Capítulo 3:** Caso de estudo

Neste capítulo é indicado o caso de estudo proposto pela empresa. É nesta secção que se caracteriza o sistema de rastreio atual, identificando quais são os utilizadores do sistema. Aqui é desenvolvido igualmente o modelo de análise.

### **Capítulo 4:** Identificação do problema

Neste capítulo são identificados quais *pain points* do sistema de rastreio, esquematizando o mesmo detalhadamente, a interação entre os utilizadores do sistema e a modelação de base de dados existente.

### **Capítulo 5:** Proposta de melhoria

Neste capítulo é desenvolvida a proposta de melhoria com recurso à AMFE do processo aplicada no capítulo 4. Desenvolvem-se os mesmos métodos que no capítulo anterior de forma a que seja possível comparar o cenário atual com o proposto.

### **Capítulo 6:** Conclusões e recomendações para trabalhos futuros

Neste capítulo concluem-se as propostas de melhoria e sugerem-se estudos para desenvolver em trabalhos futuros.



## 2. Revisão Bibliográfica

### 2.1. A vantagem competitiva no contexto dos Sistemas de informação para a indústria

Segundo Laudon (2011), os sistemas de informação podem ser definidos como um conjunto de componentes interrelacionados que recolhem (ou recuperam), processam, armazenam e distribuem informação para apoiar a tomada de decisões e o controlo de uma organização. Para além disso, permite também às entidades das organizações, identificar e analisar problemas que possam surgir, visualizar assuntos mais complexos e criar novos produtos (Laudon & Laudon, 2011). Ajudam a monitorizar e a gerir os processos de produção através da interligação de todos os equipamentos. Este processo é possível com o apoio de computadores (*hardware*) e um programa (*software*) que vai registando em tempo real dados essenciais para a indústria. Isto permite à organização controlar em tempo real o processo bem como, atribuir uma entidade para cada componente que facilita posteriormente a sua rastreabilidade (Melgin, 2015).

Antes de mais é fundamental entender a diferença entre dados e informação. A informação são os dados que foram tratados de uma forma a que tenham algum significado para o Homem, por sua vez, os dados são os fluxos de factos que representam eventos ocorridos dentro das organizações (Ackoff, 1989). Existem 3 atividades que permitem que os sistemas de informação produzam informação para as organizações, estas são: o input, o processamento e o output. No *input* são recolhidos os dados, o processamento transforma em informação e o output transfere a informação para o Homem (ver Figura 2.1).

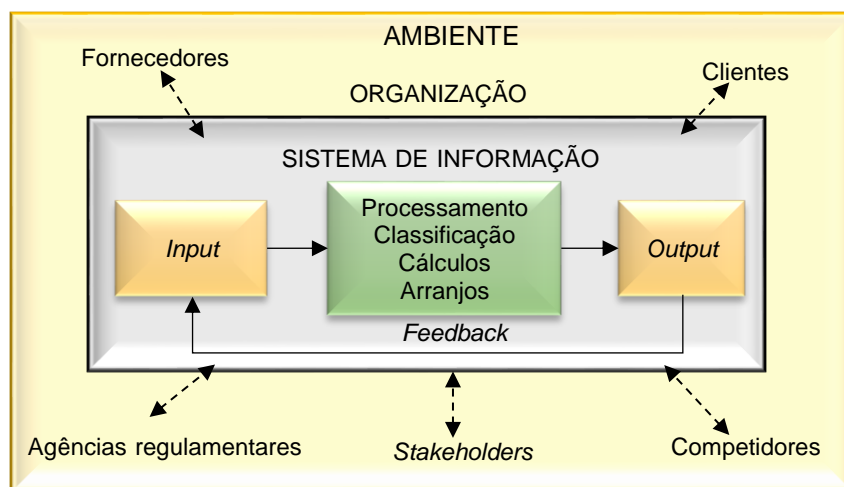


Figura 2.1 As 3 atividades básicas que produzem a informação que uma organização necessita (adaptado de Laudon & Laudon, 2011)

Considerando o mundo cada vez mais globalizado, as empresas atualizam-se tecnologicamente num passo cada vez mais acelerado, pois a concorrência é algo cada vez mais real. A competitividade origina uma preocupação crescente com a qualidade e maior eficiência, adotando modelos administrativos que possam simplificar os processos e tornar as tarefas mais simples (Júnior, 2012).

Normalmente as empresas integram os sistemas de informação de forma a melhorarem o seu desempenho, isto é, de ganharem vantagem competitiva. A vantagem competitiva é aquilo que faz uma empresa melhor do que outras, do mesmo sector, na perspetiva do cliente. Porter (1985) explicou a vantagem competitiva através do Modelo de 5 forças (ver Figura 2.2) que moldam e avaliam a atratividade de uma organização.

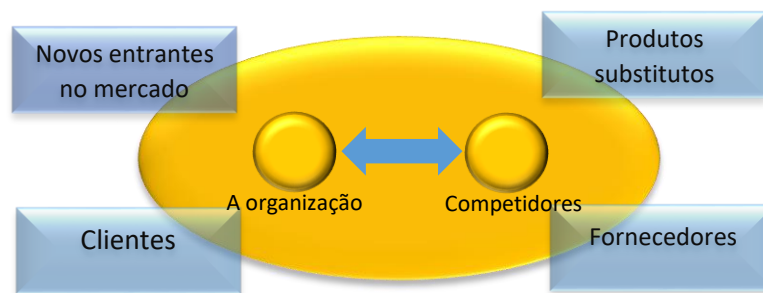


Figura 2.2 Modelo das 5 forças de Porter (adaptado de Laudon & Laudon, 2011)

A partir deste modelo podemos observar a interação entre os **competidores tradicionais** e a organização, que são aqueles a que qualquer empresa está sujeita de um modo ou de outro. Estes são os competidores diretos que fornecem resistência quanto à competição, tentando sempre apresentar melhores preços e maior qualidade. De seguida, os **novos entrantes no mercado**, que são basicamente, a novas empresas que entram no mercado e que vão criar concorrência com a nossa organização. Dependendo do tipo de negócio, pode ser fácil ou relativamente difícil de penetrar no mercado, no entanto, assim que o conseguem apresentam várias vantagens e desvantagens. Os **produtos ou serviços substitutos** são aqueles que apresentam um novo componente ou forma de desenvolver o seu produto/serviço que o torna mais eficiente e de menor custo. Estes são considerados ameaças, pois quanto mais produtos ou serviços substitutos, menos conseguimos controlar o preço e consequentemente, a margem de lucro será menor. Quanto ao **cliente**, este é o motor principal das empresas, que tentam atrair e seguidamente os manter. Os **fornecedores** são grandes influenciadores nos preços dos nossos produtos/serviços, o que por conseguinte torna-se igualmente num fator importante para as organizações (Laudon & Laudon, 2011).

Os sistemas de informação conseguem mexer com estas cinco forças de forma a que as organizações ganhem vantagem competitiva, atingindo custos operacionais e preços mais baixos, diferenciação do produto, focalização do mercado e aumenta as relações entre o fornecedor e o cliente (Júnior, 2012). Para além disso, os sistemas de informação conseguem ainda integrar todas as unidades de uma organização, ajudando assim na partilha de *know-how* entre as mesmas (Laudon & Laudon, 2011). As organizações pretendem atingir a vantagem competitiva, pois tal significa que esta se encontra em condições favoráveis e superiores às empresas da mesma área (Porter, 1985). Seja por receitas superiores, seja por uma melhor imagem, seja por uma qualidade dos produtos/serviços elevada, existem diversos fatores que contribuem para a vantagem competitiva de uma empresa.

## 2.2. Rastreabilidade

A rastreabilidade tem diversas definições aos quais podem-se ajustar dependendo da área a ser tratada. No presente trabalho, a rastreabilidade será abordada de acordo com as perspetivas defendidas por Yu, Zhang, & Zhang (2012). A rastreabilidade na perspetiva da produção e na perspetiva da qualidade do produto serve essencialmente para registar o histórico dos dados do produto a ser fabricado, assim é possível efetuar análises estatísticas e analisar a qualidade do produto-bem como monitorizar o mesmo ao longo de todo o processo de fabrico (Ong, N.S., 2004).

Sabendo que a produção é um processo vital para qualquer indústria de produção (Cooray & Rupasinghe, 2015), o rastreamento da produção em tempo real tornou-se significativamente importante pois consegue devolver informações oportunas e precisas relacionadas ao trabalho em processo (WIP), tanto para os gestores como para os próprios operários (Ong, N.S., 2004). A monitorização permite a visibilidade e transparência do produto, o que, para além de transmitir confiança ao consumidor final, permite aos fabricantes manter o conhecimento sobre os seus produtos bem como identificar possíveis problemas de manufatura (Ong, N.S., 2004). Isto é, assegura que os produtos estão ser fabricados, em cada fase do processo, da forma especificada, ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, traçando o seu progresso (Westfall, 2006).

### 2.2.1. Definição

A rastreabilidade, de uma forma geral, pode ser definida como a habilidade de monitorizar os produtos ao longo da sua cadeia de valor. No entanto, desde que o rastreamento se tem tornando tão importante ao longo dos anos, a sua definição pode não ter muito consenso na perspectiva de alguns autores (Olsen & Borit, 2013).

Por exemplo, a definição de Moe (Moe, 1998) é a seguinte:

“Habilidade de monitorizar lotes de produtos e o seu histórico ao longo, ou parte, da produção desde a colheita, o transporte, o armazenamento, o processamento, a distribuição e a venda.”

Defende ainda que esta deve ser gerida através de um sistema de rastreamento que monitoriza o trajeto do produto-bem como todos os dados selecionados. A definição de Moe é virada para o rastreamento da indústria alimentar, no entanto, esta pode ser modelada para outras áreas, como as áreas aeroespacial e automóvel, que possuem os sistemas de rastreamento mais avançados (Moe, 1998).

A GS1<sup>1</sup> define rastreabilidade usando o conceito de Dyer que afirma que (GS1, 2018):

"É a habilidade de traçar o caminho da história, aplicação, uso e localização de uma mercadoria individual ou de um conjunto de características das mercadorias, por meio da impressão de números de identificação" (Dyer, 1966).

Töyrylä, (1999), Steele (1995), Cheng e Simmons (1994) definiram rastreabilidade, no entanto, todos concordam em 4 elementos da rastreabilidade (Jansn-Vullers, M.H., vn Dorp, C.A., Beulens, 2003):

1. Integridade do lote físico – a precisão da rastreabilidade vai ser determinada pela integridade do lote ou a sua separação bem como a sua dimensão,
2. Colheita de dados – existem dois tipos de dados, estes são (i) rastreamento dos dados recolhe os movimentos, e (ii) os dados do processo recolhem dados importantes;
3. Identificação do produto e ligação do processo para determinar a composição do produto;
4. Relatórios para recuperar dados do sistema.

---

<sup>1</sup> A GS1 é uma organização sem fins lucrativos que desenvolve e mantém padrões globais para comunicação empresarial, nomeadamente o código de barras.

A evolução da rastreabilidade ao longo dos anos (ver Figura 2.3) tem sido constante, tendo-se verificado um maior desenvolvimento nos anos 70 quando a IBM criou o código de barras. O sistema mais atual do momento é o código QR Code, que consegue armazenar uma grande quantidade de informação de um produto e que, através da *Internet*, é possível aceder com um *smartphones* a todos os dados necessários instantaneamente (Moura, Santos, & Oliveira, 2017).

### Evolução dos códigos de dados

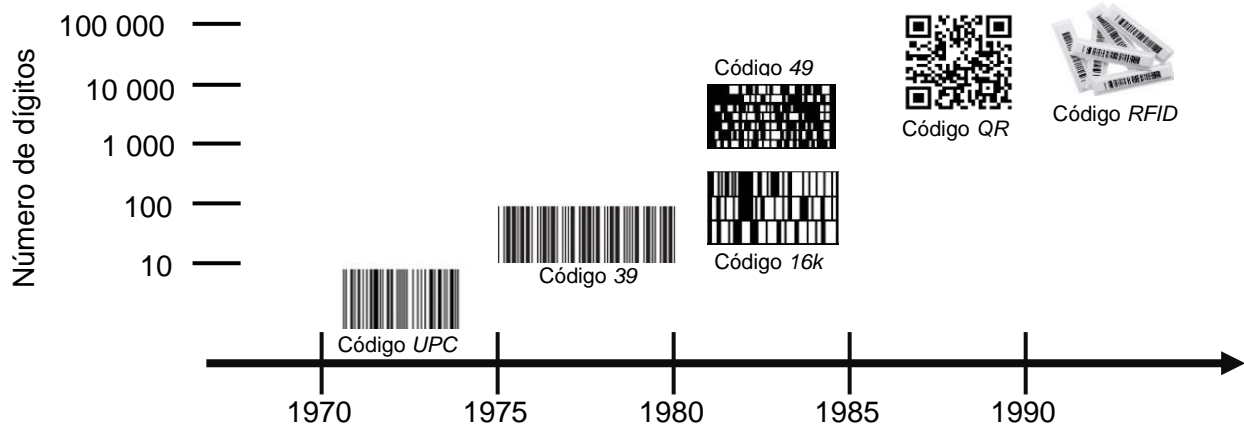


Figura 2.3 Evolução do rastreio pelo código de barras (adaptado de Moura, *et al.*, 2017)

Desde a década de 1980 que a indústria eletrónica tem investigado formas, técnica e economicamente, mais eficientes de aplicar códigos nas placas de circuitos que sejam capazes de ser lidos por máquinas (Rozhdestvenskiy, 2010). Começou-se pela marcação de código de barras lineares na borda da placa o que levou a um grande desafio devido ao alinhamento do leitor, tal como, ao alinhamento da própria marcação. O conteúdo do código de barras foi limitado a alguns caracteres devido ao espaço limitado e à capacidade de caracteres por polegada (Monette & Bogart, 2009). O desenvolvimento do 2D combinado com a resolução, permanência e velocidade da tecnologia de marcação a laser orientada por feixe oferece agora aos fabricantes um meio confiável económico, flexível e verificável para identificar exclusivamente todos os produtos através da produção, distribuição e pós-venda (Stevenson, 2005).

### 2.2.2. Tipos de rastreabilidade

Existem diferentes tipos de rastreabilidade que o autor Jansen-Vullers (2003) identifica e resume:

**Rastreabilidade a montante** (*backward traceability*) é a que vai permitir, a partir de qualquer ponto da montagem da peça, saber qual é a origem da matéria-prima envolvente pois os lotes da matéria-prima são conhecidos em cada ponto de fabrico;

**Rastreabilidade a jusante** (*forward traceability*) tem a ver com a capacidade de a organização monitorizar o destino do produto final, isto é, fazer uma ligação entre os lotes do produto e o que vai ser entregue ao cliente final, sendo que esta ligação identifica uma matéria-prima de interesse;

**Rastreabilidade passiva** permite a visibilidade total dos objetos bem como a sua disposição. Existe uma monitorização *online* que cria um histórico a partir da identificação exclusiva de cada peça/item e, portanto, assegura a rastreabilidade a montante e a jusante;

**Rastreabilidade ativa** centra-se na otimização e controlo da cadeia de abastecimento utilizando a rastreabilidade como uma ferramenta de gerir a informação relativa ao produto e à sua qualidade. Isto permite que as organizações reduzam os custos de falhas, aumentem a produtividade e a garantia da qualidade. Em resumo, a rastreabilidade ativa engloba a rastreabilidade passiva na medida em que o registo dos dados é utilizado para monitorizar os objetos tanto a montante como a jusante com a particularidade de esses dados servirem para os dados de qualidade.

### 2.2.3. Importância da rastreabilidade

A rastreabilidade ganhou maior importância quando surgiu a doença BSE, mais conhecida como a “doença das vacas loucas”, que teve o seu início no ano de 1996 no Reino Unido, devido à ingestão de carne bovina contaminada. Esta situação teve impactos muito negativos na indústria bovina, contando com uma descida no consumo da carne bovina de 8% em apenas 1 ano e a diminuição da exportação de cerca de 37%. Até a indústria dos lacticínios foi afetada pois conclui-se que a doença tinha passado de gerações em gerações (Vinholis & Azevedo, 2002). O fato de a contaminação não ter sido detetada imediatamente nem a sua fonte, gerou um ambiente de desconfiança quanto aos alimentos presentes no mercado. Daí as empresas



alimentares terem um grande interesse em investir e evoluir nos sistemas de rastreabilidade (Pereira, 2014).

Mas não só na indústria alimentar a falta de rastreio é um problema. Por exemplo, em 2009 a empresa *Toymaker Mattel Corp.* pagou uma multa de 2,3 milhões de dólares devido a brinquedos que continham uma quantidade de chumbo superior ao recomendado (Kavilanz, 2009). A empresa foi obrigada a fazer *recall* de milhões de brinquedos provenientes da China. Só em brinquedos da *Fisher-Price*, em agosto de 2007, foram chamados de volta mais de 1,5 milhões de brinquedos, passados 3 meses outros 9,5 milhões de brinquedos do mercado Americano e 11 milhões do mercado externo. Após este acontecimento, a empresa afirmou que tomou medidas mais rigorosas quanto à conformidade dos seus produtos (Kavilanz, 2009).

Kvarnström B. (2009) identifica os benefícios indicados na Tabela 2.1 de um sistema de rastreio, por áreas de aplicação na indústria.

Tabela 2.1 Importância de um sistema de rastreio de acordo com as diferentes áreas no contexto da indústria

Área de importância	Benefícios de um sistema de rastreio
<b>Recall</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Torna o <i>recall</i> de produtos específicos possível;</li><li>• Localiza os produtos no mercado;</li><li>• Reduz o impacto de eventos indesejados.</li></ul>
<b>Prevenção da responsabilidade do produto</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Em caso de alguma reclamação a um produto, os registos são usados como evidências.</li></ul>
<b>Melhoria da qualidade e do processo</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oferece ferramentas para identificar problemas;</li><li>• É possível monitorizar possíveis produtos não conformes durante a produção;</li><li>• Quando ocorre alguma mudança na produção esta é mais fácil de identificar;</li><li>• Permite a criação de produtos e serviços personalizados;</li><li>• Reduz e impede futuros problemas.</li></ul>
<b>Prova de qualidade e origem</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Oferece informações que mostram que os requisitos contractuais foram atingidos;</li><li>• Fornece registos de produtos que podem ser usados para alcançar prémios ou preços mais altos.</li></ul>
<b>Logística</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permite o rastreio em tempo real de embarques e estimativas de horários de chegada;</li><li>• Garante que o produto passou por todas as etapas de produção necessárias.</li></ul>
<b>Segurança</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Permite a identificação de perdas e possíveis responsabilidades;</li><li>• Permite a identificação de produtos ilegais e falsificados;</li></ul>
<b>Pós-venda</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• É possível verificar o <i>status</i> da garantia do produto;</li><li>• Permite serviços adaptados, incluindo modificações e adições;</li></ul>
<b>Contabilidade</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ajuda na medição dos custos incorridos</li></ul>

Por todos os benefícios de um sistema de rastreio bem integrado pode-se concluir que é um sistema digno de investimento (Chryssochoidis et al., 2009).

#### 2.2.4. Rastreabilidade na Indústria Automóvel

Os componentes eletrónicos dos automóveis são importantes objetos que necessitam de controlo dentro do processo de produção de forma a que se tenha a certeza que se atingiu a segurança e precisão dos requisitos. E por isso, para cada componente, o produtor deve monitorizar o seu processo de produção, estrita e cuidadosamente, especialmente para quando estes se encontram na linha de produção (Amalfitano et al., 2017). Outro importante passo é preservar todos os detalhes da produção, assim que o componente aparecer com um problema de qualidade, tem que se conseguir rastrear inversamente por todo o processo de fabrico de modo a encontrar as causas e propor a correspondente solução (Yu et al., 2012).

Os fabricantes de componentes automotivos estão cada vez mais à procura de métodos seguros e económicos de rastrear e identificar os produtos de forma exclusiva ao longo do ciclo de produção, distribuição, vendas, verificação de garantia e ainda pós-vendas. Para isso, um autónomo e automático sistema deve ser implementado nos objetos para identificar cada um inequivocamente. Este código deve ser resistente o suficiente para que consiga permanecer intacto ao longo dos vários processos, podendo estar sujeito a condições extremas como altas temperaturas (Stevenson, 2005).

Auditoras externas como a IATF<sup>2</sup> determinam algumas recomendações que a empresa deve seguir quanto à rastreabilidade. Começando por afirmar que é indispensável que a indústria garanta maneiras adequadas de identificar os *outputs* quando é necessário assegurar a conformidade dos produtos e serviços. Para isso deve identificar o estado dos *outputs em relação* aos requisitos de rastreio e medição em toda a produção, bem como controlar a identificação inequívoca quando a rastreabilidade é um requisito e reter documentação da informação necessária respetivamente à rastreabilidade.

O objetivo do rastreio na indústria automóvel é de apoiar a identificação dos pontos de início e fim da produção do produto recebido pelo cliente ou então no caso que ocorram falhas de qualidade e /ou de segurança. Primeiramente a organização deve realizar uma análise dos requisitos de rastreabilidade do cliente e regulamentar todo os produtos automotivos, incluindo o desenvolvimento e documentação de planos de

---

<sup>2</sup> IATF – International Automotive Task Force

rastreabilidade, com base nos níveis de risco ou severidade de falhas para funcionários, clientes e consumidores. Estes mesmo planos devem definir os sistemas, processos e métodos de rastreabilidade apropriados por produto, processo e local de fabricação que (Melo Thuany, 2017):

- Permite a organização separar os produtos conformes dos não conformes;
- Assegurar a capacidade de cumprir com os requisitos do cliente;
- Assegurar que as informações documentadas sejam mantidas em algum formato, pode ser eletrónico, impresso ou em arquivo, permitindo à empresa atender aos requisitos do tempo de resposta;
- Assegurar a identificação serializada de produtos individuais, se especificados pelo cliente ou regulamentações *standard*.

### 2.3. *Lean* no contexto da indústria automóvel

Segundo Sharp (1990), várias indústrias beneficiaram da implementação da identificação automática em diferentes áreas. A identificação automática diminui o tempo de verificação do inventário ou da procura de lotes, reduzindo em cerca de 50% do tempo de trabalho, 60% em armazém e em 75% em inventário de retalhos.

Um estudo efetuado por Yamashina (2011), afirma que os erros humanos ocorrem mesmo que os operadores se encontrem motivados e treinados e que, estes vão ser responsáveis por diminuição da qualidade dos produtos. Yamashina (2011) defende que o erro humano consegue-se amenizar, chegando ao objetivo do zero erro humano, através de 3 medidas:

1. Ensinar as tarefas a ser executadas com frequência em pequenas frações de tempo;
2. Fornecer um ambiente amigável e tranquilo ao colaborado, e por fim;
3. Melhorar o processo através de ferramentas que possam simplificar os processos.

O principal objetivo do *lean* é de eliminar desperdícios referentes a todos os processos de forma a melhorar o funcionamento da organização. Quando se fala em desperdícios, não se fala apenas nos desperdícios da produção, mas também, desperdícios a nível da logística, dos recursos humanos, do IT, da gestão de topo e ainda das finanças (Hefer, 2009). Segundo Simons D. e Zokaei K. (2005) o *lean* é um paradigma industrial que tem provado trazer benefícios significativos às empresas de produção, principalmente nos ramos do setor automóvel e aeroespacial.

O início do *lean* surge na década 40 no Japão, nomeadamente na *Toyota Production System* que tinha como pensamento, ao contrário do pensamento das empresas ocidentais, que apenas uma pequena fração do tempo e esforço total gastos na concessão de um produto trazia valor para o cliente final (Melton, 2005).

O uso do *lean* tem vindo a ser uma tendência na indústria automóvel (Banduka, Veža, & Bilić, 2016) aliás, segundo Sivers e Sjögren (2013), na indústria automóvel o rastreio vem em consequência da produção *lean*. De forma a eliminar o desperdício e melhorar continuamente os operações de acordo com os princípios do *lean*, o rastreio é uma ferramenta importante para encontrar as causa-raízes de alguns problemas (Bergman & Klefsjö, 2007).

Segundo Brintrup A. *et al* (2009), existem dois tipos de desperdícios na linha de produção no momento da recolha de dados feita através da leitura do código de barras e o registo manual: (i) movimentação desnecessárias feita pelos operadores e (ii) desperdício no transporte.

Qualquer processo que não adiciona valor ao consumidor final é considerado de desperdício. No entanto, existem processos que não podem ser eliminados, como por exemplo, os controlos financeiros (Melton, 2005). Os 7 típicos desperdícios, que podem ter o nome de “muda”, encontram-se na Figura 2.4.

A movimentação das pessoas em contexto de indústria é considerado um desperdício na medida em que, enquanto se movimenta para transportar documentos ou amostras, se movimenta no armazém, se movimenta ao encontro de outras pessoas para confirmar informações, ou ainda, se movimenta para inserirem dados em sistemas MRP, não estão a realizar realmente o trabalho delas, isto é, o processo do produto (Melton, 2005). Em termos de transporte, quando se movimentam os produtos para diferentes locais estes não estão a ser processados e tal não adiciona valor ao produto (Melton, 2005). Por exemplo, em termos de *recall*, o produto tem que ser movimentado várias vezes o que traz desperdício à empresa.



Figura 2.4 Os 7 desperdícios do *lean* (adaptado de Melton, 2005)

As principais tarefas do *lean* que apoiam a filosofia do mesmo, como a eliminação dos desperdícios, o melhoramento contínuo dos processos (*kaizen*) e a perfeição, são: *kanban*, *just-in-time*, *5s*, *jidoka*, *takt-time*, *heijunka* e trabalho standardizado (Simons & Zokaei, 2005).

## 2.4. Retrabalho

Um dos elos mais fracos na indústria é a gestão dos dados de qualidade do processo de montagem presente numa linha de produção (Weng, Liu, He, & Zhuang, 2017). A operação de retrabalho é o processo de transformação de produtos imperfeitos que foram gerados aquando do fabrico em produtos operacionais (Aghajani et al., 2012). Consiste numa atividade adicional de recuperar um objeto, manual ou automaticamente, para que este volte para a linha de produção e seja, novamente, completamente funcional. Objetos de retrabalho podem surgir de diferentes partes da linha de produção e são de extrema importância pois influenciam a qualidade dos produtos finais.

Implementar um sistema de rastreio de retrabalho tem como principal objetivo monitorizar as peças que sofreram retrabalho, de forma a que haja um controlo total sobre todas elas em todos os processos da linha. Um outro importante benefício de um sistema de rastreio de retrabalho, para além do controlo, é a contagem das falhas das peças, que vão ser importantes para o controlo estatístico de qualidade tornando possível aperfeiçoar ou remendar possíveis falhas que estejam a ocorrer na linha de produção (Törylä, 1999). Os produtores têm que ser capazes de identificar com

precisão exatamente qual é o objeto defeituoso da linha e, através de suporte informático, não só conseguir substituir a peça ou retrabalha-la, como também determinar se existe algum lote sujeito a ter mais peças sem conformidade e determinar a causa (Agarwal, 2001).

Na realidade, o retrabalho não pode ser totalmente eliminado da linha de produção e muitas das vezes as falhas não são identificadas nos primeiros estágios de produção e portanto uma certa parte do custo do retrabalho tem que ser assumido como inerente ao projeto (Alves, 2015).

As peças de retrabalho são de difícil monitorização na medida em que diferentes tipos de materiais são misturados no processo, afetando desta forma a qualidade e consequentemente o rastreamento dos objetos (Morán et al., 2004). Sendo assim, é essencial monitorizar o próprio processo de retrabalho como os movimentos das peças, o histórico de retrabalho, as peças substituídas, entre outros. As tecnologias do *auto-ID*<sup>3</sup> são fundamentais para resolver o problema do sistema de retrabalho, pois permitem rastrear inversamente as peças de forma automática fornecendo informações essenciais sobre o histórico dos objetos em questão (Morán et al., 2004).

## 2.5. *Recall*

Os defeitos e o *recall* são uns dos maiores problemas dos produtores, e por isso, um grande desafio na gestão da informação sobre os produtos que não se encontram dentro das especificações (Robson et al., 2007). O *recall* dos produtos abrange uma área extensa, desde os produtos automobilísticos até aos produtos alimentares e que potencia o risco financeiro das organizações. Por exemplo, a *General Motors* foi obrigada a pagar uma multa de aproximadamente 1 milhão de dólares por não ter feito um *recall* dos para-brisas de mais de meio milhão de automóveis (Albright, 2018).

O *recall* é um processo que envolve, por norma, movimentações de quantidades massivas de produtos quando estes não estão conformes (Morán et al., 2004). Este processo deve ser feito da melhor forma a que não se comprometam consequências legais ou o degradingamento da imagem da empresa (Chryssochoidis et al., 2009). A preocupação com um sistema de *recall* surgiu depois do 11 de setembro, nos países desenvolvidos, no *recalling* dos alimentos, como por exemplo, nos EUA, quando governo federal mostrou o seu interesse em aumentar a regulamentação da cadeia de abastecimento dos seus alimentos (Huffman, 2002). Já no Reino Unido este tema foi

---

<sup>3</sup> Auto-ID – identificação automática e captura de dados

especialmente importante após o aparecimento da “doença das vacas loucas” (BSE) e as bactérias *e-coli* que contaminavam os alimentos, há relativamente pouco tempo atrás (Morán et al., 2004). No sector automóvel, em 2015, 51 milhões de veículos tiveram *recall*, o que corresponde a uma quantia 3 vezes superior à quantidade de veículos vendidos (Eshkenazi, 2016), em 2009, mais de 200 empresas fizeram *recall* de aproximadamente 2 100 de artigos que continham amendoins com salmonela (bolos, gelado, manteiga de amendoim, alimento para animais, bolachas, etc.) que teve custos astronómicos (Motorola Solutions, 2011).

A *Food and Drug Administration* (FDA) refere-se a 4 tipos de *recall*:

1. Devido a violação a uma lei;
2. Correção, necessidade de reparação, modificação, ajustamento ou mudança das marcações/etiquetas sem ser necessário a remoção física;
3. Retirada do mercado devido a uma violação menor que não requer ações legais;
4. Recuperação do mercado quando a organização melhorou/recuperou artigos ainda sob o seu controlo, isto é, que não estavam no mercado.

Notícias, na *internet* ou em jornais, sobre a necessidade de intervir na devolução dos produtos à marca de origem é, infelizmente, muito comum, o que prova que a deteção atempada dos produtos não é conseguida (Kvarnström & Vanhatalo, 2009).

A identificação eficiente de qual é artigo que compromete a qualidade dos lotes é de extrema importância para o *recall*, que vai aumentando todos os anos (Robson et al., 2007), para isso é necessário possuir um sistema de informação confiável sobre peças provenientes do um processo produtivo, seja qual o estado da peças for, permitindo a redução dos *recall*, tanto em tempo como em volume (Cucu et al., 2008).

Existe duas razões para qual o *recall* tem sido cada vez mais frequente (Töyrylä, 1999):

- A segurança das pessoas tem sido levada cada vez mais em consideração, portanto independentemente de as empresas cometerem erros e atalhos, existem ferramentas que permitem que a deteção desses mesmos erros seja rastreada até à sua origem;
- Os *recalls* estão cada vez mais complicados e disseminados na medida em que os produtores operam em ambientes consolidados com outras empresas do mesmo sector ou sector relacionados, compartilhando os mesmos fornecedores.

A Tabela 2.2 apresenta os custos diretos e indiretos que advém do *recall*.

Tabela 2.2 Custos diretos e indiretos relacionados com o *recall* (adaptado de Motorola Solutions, 2011)

Custos diretos	O custo de remover o produto do mercado
	Custos de média associados ao contacto com os clientes
	Custos associados à destruição ou recuperação dos produtos
	Custos associados à substituição dos produtos aos clientes
	Custos legais
	Custos de conformidade regulamentares (taxas, testes e inspeções adicionais)
Custos indiretos	Degradamento da reputação e imagem da empresa
	Perdas a longo prazo de uma categoria de produtos
	Custos adicionais de <i>marketing</i> e publicidade para recuperar o mercado
	Aumento dos custos dos testes de conformidade
	Custos associados à adição de empregados nas divisões de vendas bem como técnicas
	Aumento permanente em testes e amostras

Alison Smith, investigador sénior da AMR Research Inc.<sup>4</sup> afirmou que “Reduzir os *recalls* é uma razão convincente para começar a pensar na rastreabilidade nos automóveis. Se 2 carros têm um problema, não queremos fazer *recall* de 30 000 carros. Queremos fazer *recall* de 50” (Spiegel, 2006).

## 2.6. Tecnologias emergentes no apoio à rastreabilidade

As organizações conseguem um rastreio completo das peças através de mudanças tanto a nível de processos como a nível tecnológico, passando dos processos manuais de rastreio que estão sujeitos a erros para processos automáticos, isto é, que permite a captura, armazenagem e gestão da informação automaticamente (Motorola Solutions, 2011).

As companhias que adotam sistemas de rastreio, muitas vezes, adotam o ineficiente rastreio manual, apesar de ferramentas semiautomáticas e automáticas estarem cada vez mais disponíveis (Regan, McCaffery, McDaid, & Flood, 2012). Um sistema de rastreio integrado permite que o fluxo dos produtos seja sincronizado com dados em tempo real, eliminando desta forma o fator de erro humano devido ao processo de recolha dos dados (Brintrup et al., 2009).

*Auto-ID* é a abreviação de *Automatic Identification* e que significa a identificação e recolha de dados automaticamente sem intervenção humana. *Auto-ID* é composto essencialmente por métodos, tecnologias e dispositivos, como leitores de código de barras, *RFID*, leitores de fitas magnéticas/cartões e ainda cartões de memória ótica.

<sup>4</sup> AMR Research Inc – empresa independente de pesquisa e análise industrial



Toda a informação registada por estes dispositivos é inserida num sistema informático se qualquer intervenção humana (Amde et al., 2014). Normalmente esta tecnologia é utilizada em ambiente industrial onde é necessária a monitorização rápida dos objetos, o que está para além da capacidade humana. De momento a tecnologia *RFID* é a mais inovador na identificação automática e é largamente utilizada devido à sua flexibilidade e acessível economicamente (Costa et al., 2017). No entanto, a tecnologia do código de barras é também muito utilizado apesar de ser mais manual, pois a intervenção humana, mesmo assim é mínima (Amde et al., 2014). Tem a função de substituir o trabalho humano visando a qualidade dos produtos a rapidez da produção facilitando os processos e possibilitando assim a competição da organização no mercado (Prediger et al., 2016)

A Tabela 2.3 resume os componentes e as respetivas descrições que ajudam na rastreabilidade no mundo industrial e que tem sido adotada pelas organizações.

Tabela 2.3 Sistemas que melhoram o rastreio de uma organização (adaptado de Motorola Solutions, 2011)

Componente	Descrição
<b>Manufacturing Execution System (MES)</b>	Fornecem informação detalhada sobre o histórico relativo à produção, inspeção, genealogia e utilização dos produtos.
	Capturam o lote/número de série dos produtos finais
	Fornecem documentos relativos a variáveis dos processos, como a temperatura, pressão, etc.
	Identificam um trabalhador específico de um turno específico
	Criam <i>templates</i> para o sistema produtivo para guiarem todos os passos do processo
	Rastreiam o <i>WIP</i> ( <i>work in process</i> ) e fornece informações sobre as encomendas e o estado da produção no momento
<b>Enterprise Resource Planning (ERP) System</b>	ERP ( <i>enterprise resource planning</i> ) é um nível integrante do MES
	Têm a informação “ <i>master</i> ” dos materiais, fornecedores e vendedores enquanto que a MES rastreia os consumos dos materiais, do <i>WIP</i> e dos produtos acabados
<b>Data Capture and Mobility Hardware</b>	Computadores móveis, leitores de código de barras, etiquetas <i>RFID</i> e respetivos leitores e <i>industrial wireless local area network</i> (WLAN) trabalham sincronizados para capturar toda a informação. Permite desta forma que os sistemas de MES e ERP trabalhem com informação em tempo real. Os dispositivos possíveis de utilizar são:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Código de barras 1D e 2D</li> <li>○ <i>RFID</i></li> <li>○ Marcação direta das pelas com laser, ponto a ponto, estampagem ou reação química</li> </ul>
<b>Additional Software Systems</b>	Aplicações que criam interfaces através de leitores móveis e fixos entre o MES, ERP e os sistemas de qualidade. Gestão do <i>software</i> :
	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gerir, manter e monitorizar os dispositivos móveis;</li> <li>○ Gerir, monitorizar e assegurar a segurança e a conformidade entre as redes</li> </ul>
<b>Professional Services</b>	Implementam soluções de rastreio entre o ambiente fabril através de gestão de projetos, seleção de fornecedor etc.

### 2.6.1. Código de Barras

O código de barras, ou 1D, é uma linha de espaços claros e escuros (ver Figura 2.5) que criam um determinado reflexo para um leitor ótico, ao qual vai converter o sinal analógico em valores lógicos de 1 e 0. O arranjo dos espaçamentos é feito de acordo com uma certa simbologia, em que no início a informação é feita através da largura dos espaços claros e escuros. Os códigos de barras mais utilizados são o *Code 39*, *Code 128*, *Codabar*, *Universal Product Code* e *Interleaved 2-of-5*. A linha tem duas zonas que não têm nada impresso, o que indica o início e o fim do código. Para artigos de pequenas dimensões, em que a área de impressão do código é estrita, é necessário utilizar códigos mais densos como o *Code 128* que consegue codificar 128 caracteres do código ASCII. O leitor de código de barras é constituído por: uma fonte de luz, uma lente e um conversor de imagem que traduz impulso óticos em impulsos eletrónicos (Cucu et al., 2008).

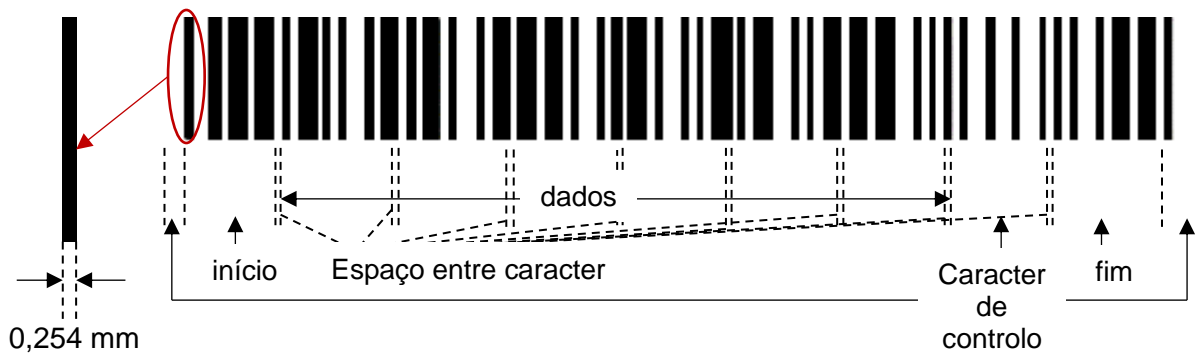


Figura 2.5 Estrutura do código de barras (adaptado de Cucu et al., 2008)

### 2.6.2. Data Matrix Code

Entretanto, a tecnologia evoluiu para o código 2D, que tem exatamente a mesma função que um código 1D, com a diferença que consegue armazenar mais informação e trabalha com informação tanto no plano horizontal como no plano vertical, sendo que os dois códigos 2D mais conhecidos são o *QR-Code* e o *Data Matrix Code* (DMC) (Souza, 2017). Este código foi criado no ano 1994 por uma empresa de automóveis japonesa, *Denso-Wave*, com o objetivo de catalogar as peças dos veículos na linha de produção (Xavier, 2011).

A *Electronic Industries Alliance* (EIA) recomenda a utilização de código DMC para pequenos componentes eletrónicos e este é o código mais utilizado em componentes na Europa. Algumas das características do DMC são (Cucu et al., 2008):

- Pode ser lido em qualquer orientação entre os 180° aproximadamente;

- Usa erros de correção para reconstruir os códigos que são difíceis de ler, ou foram mal impressos ou estão em degradação;
- Usa palavras código para codificar os dados;
- Adicionam-se mais colunas e linhas quanta mais informação se quiser adicionar;
- Pode ser lido mesmo com 20% de contraste;
- Consegue armazenar 3 116 caracteres numéricos ou 2 335 caracteres alfanuméricos, ou ainda, 1 555 bytes de informação binária.

Outro benefício é que a marcação a laser é uma forma de imprimir o código DMC permanentemente, fornecendo ao utilizador controlo por computador para uma fácil implementação em sistemas automáticos de rastreamento de produtos (Stevenson, 2005).

Quando é feita a comparação entre o código de barras convencional e o DMC, do ponto de vista de erros, isto é, dos dados recolhidos das duas fontes, pode se concluir que a diferença não é significativa, ganhando o DMC apenas pela flexibilidade de manuseamento e a quantidade de informação que consegue armazenar (Cucu et al., 2008).

Este código é composto por duas partes separadas: o padrão de localização, que vai servir para o código ser lido e acessar à informação, e os dados codificados, mais propriamente ditos. O padrão de localização tem a função de definir: a forma, o tamanho, a dimensão-x, e o número de linhas e colunas do código. Este padrão de localização é composto por duas partes distintas (ver Figura 2.6), (i) o padrão de localização L, uma linha contínua escura, a esquerda e abaixo do símbolo que serve exatamente para definir o tamanho, a orientação e distorção do símbolo; (ii) e o relógio de sincronismo, que estão na parte direita do código e em cima e é constituído por elementos pretos e brancos. Este último elemento tem como função definir a estrutura base do símbolo e auxiliar na determinação da dimensão e distorção (GS1, 2009).

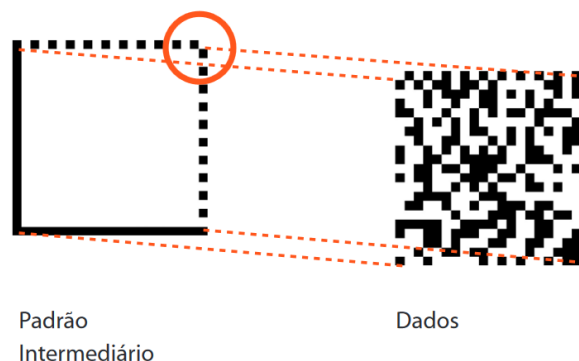


Figura 2.6 Estrutura Geral do código DMC (fonte: GS1, 2009)

Quanto à forma de apresentação do código, este pode vir na forma quadrada ou na forma retangular (ver Figura 2.7). A forma mais comum é a quadrada pois é a que permite codificar uma maior quantidade de dados, de acordo com a norma ISO/IEC 16022 (GS1, 2009), que é a norma responsável por definir os requisitos do código DMC, como as características, a codificação, formatos, dimensões, entre outros (ISO, 2006).

O tamanho do código depende do número de informação que o símbolo vai codificar, tendo um limite máximo de capacidade. Para o formato quadrado o limite máximo é de 2 335 caracteres alfanuméricos e 3 116 caracteres numéricos, correspondendo a 144 linhas e 144 colunas. Já para a forma retangular, a capacidade varia, sendo de 72 caracteres alfanuméricos e 98 caracteres numéricos, no entanto este formato permite uma leitura mais rápida do que o quadrado (GS1, 2009).



Figura 2.7 Formas possíveis do código 2D (fonte: GS1, 2009)

### 2.6.3. *Radio Frequency Identification*

O código *RFID* é a abreviação de *Radio Frequency Identification* e é caracterizada por uma etiqueta eletrónica, sendo esta, uma das 10 mais importantes tecnologias do século XXI (Lianzhi & Fansen, 2010). Esta tecnologia encontra-se dentro dos tópicos da Indústria 4.0 e é caracterizada por um grande foco na automatização e troca de dados em tecnologias industriais (Costa et al., 2017). De acordo com Wyld (2006) citado por (Costa et al., 2017) existem 5 benefícios do RFID que se destacam quando comparado com o código de barras: não necessita de um campo de visão para ser lido, consegue guardar uma maior quantidade de informação, é mais resistente, permite a leitura quase simultânea de múltiplos objetos, e cada item pode ter um código único. A tecnologia RFID é constituída então pela etiqueta RFID, por um leitor e um *middleware* (que realiza a integração dos dados dos leitores, leitura e gravação do RFID). A Figura 2.8 mostra a ligação entre os componentes da tecnologia RFID e como a informação flui entre eles.

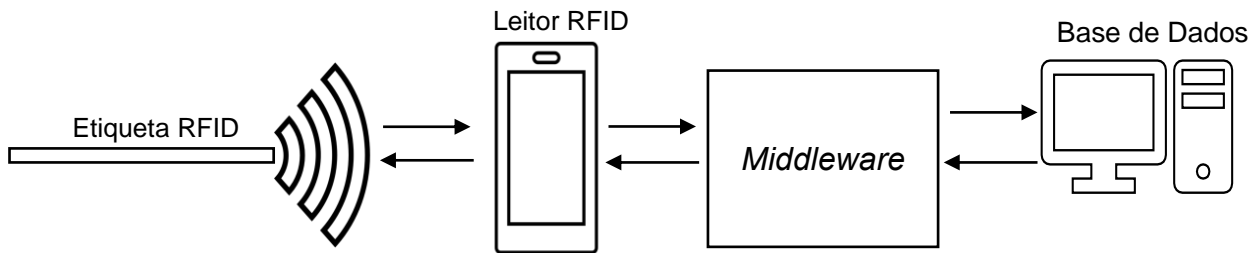


Figura 2.8 Fluxo de informação entre os componentes da tecnologia RFID (adaptado de Adetiloye, 2012)

As etiquetas são constituídas por dois componentes essenciais: um *microchip* de silicone ou semicondutor e uma antena, dependendo da tecnologia pode também ter uma bateria. As etiquetas são classificadas de 3 formas: (i) ativas que possuem a sua própria fonte de energia de longa duração apesar de ser necessário trocá-la, (ii) semi-passivas que possuem uma fonte de energia, mas é assistida o que significa que é necessário a aproximação de um leitor e (iii) passivas que são as que apresentam um menor custo e, portanto, são economicamente atrativas para as organizações. Estas etiquetas não necessitam de uma fonte de alimentação pois obtêm a energia através das frequências emitidas pelo leitor (Patti & Narsing, 2006). Substituir os convencionais códigos de barras por etiquetas RFID tem ainda a vantagem de tornar o registo de dados e verificações completamente *hands-free*, isto é, sem a intervenção Humana (Monette & Bogart, 2009).

Existem 3 tipos de frequências na tecnologia RFID (Costa et al., 2017):

- Baixa frequência (LF) de 125-134kHz;
- Alta frequência (HF) de 13.56 MHz;
- Ultra alta frequência (UHF) de 866-966 MHz.

Os leitores também são classificados quanto à sua mobilidade e protocolo de comunicação. Quanto à sua mobilidade podem ser estacionários e por isso estão fixos a estruturas fixas ou a objetos móveis, enquanto que os leitores portáteis têm uma antena integrada que permite utilizar uma unidade portátil. Quanto ao seu protocolo para transferir dados com o sistema utiliza-se a série RS-232 para leitura de séries enquanto que a leitura por rede utiliza uma conexão com fios ou sem fios (Adetiloye, 2012).

Quando existe uma arquitetura de sistemas de informação bem estruturada e apropriada os dados são inseridos em tempo real, conseguindo-se obter a visualização dos objetos em todas as operações, a sua condição e o seu histórico (Brintrup et al., 2009).

#### 2.6.4. Comparação entre RFID, *Data Matrix* e Código de Barras

Surge então a necessidade de comparar estas 3 tecnologias utilizadas pelas indústrias na área da rastreabilidade. A Tabela 2.4 resume a comparação entre as mesmas tendo em consideração várias características importantes, tanto a nível de desempenho como a nível de custos.

Tabela 2.4 Tabela de comparação entre as Tecnologias de Rastreabilidade (fonte: Narciso, 2008)

Característica	RFID	<i>Data Matrix</i>	Código de Barras
Resistência Mecânica	Alta	Alta	Baixa
Formatos	Variados	Relevo	Etiqueta
Exige contato visual	Não	Não	Sim
Vida útil	Alta	Alta	Baixa
Possibilidade de escrita	Sim	Não	Não
Leitura Simultânea	Sim	Não	Não
Dados Armazenados	Alta	Alta	Baixa
Funções Adicionais	Sim	Não	Não
Segurança	Alta	Alta	Baixa
Custo inicial	Alto	Alto	Baixo
Custo de manutenção	Baixo	Baixo	Alto
Reutilização	Sim	Não	Não

A análise da Tabela 2.4 permite concluir que a escolha por uma das tecnologias depende do tipo de produto a rastrear e ainda, o custos a que a organização está disposta investir. O RFID possui as características mais atrativas a nível de *performance*, enquanto que, o código de barras apresenta características mais frágeis. No entanto, quando se fala em custos, o código de barras apresenta valores muito abaixo dos custos do RFID. O código *data matrix*, é um intermédio que garante boas características, apesar de apresentar um custo elevado também.

#### 2.7. Rastreabilidade no Contexto da Gestão da Qualidade

A qualidade está diretamente ligada com o facto de cumprir os requisitos e as expectativas de todos os clientes, sendo que a melhor e mais credível medida da qualidade é a ideia de satisfazer as necessidades do cliente final (Dudek-Burlikowska, 2011).

Para prosperar nas condições da economia atual, os fabricantes têm que garantir uma qualidade superior dos seus produtos ao custo mais reduzido possível. O custo

total de produção tem que ser levado em conta até o produto completar o seu ciclo de vida, isto é, incluindo a sua garantia, *recalls* e as reparações. Os sistemas de rastreabilidade são essenciais para alcançar esses objetivos estratégicos com sucesso, permitindo alcançar um uso adequado dos materiais e recursos ao longo da produção (Monette & Bogart, 2009). A necessidade de monitorizar os materiais, os processos de produção, e os dados mais relevantes da produção de um determinado objeto é um requisito fulcral dos Sistemas de Gestão de Qualidade de acordo com a norma ISO 9001: 2015 (Savino & Xiang, 2017).

A indústria automóvel adapta novos *standards* de qualidade continuamente pois possui uma grande partilha a nível de mercado mundial e nas OEMs<sup>5</sup>. As normas de IAF 16949 (norma de Sistemas de Gestão da Qualidade mais utilizada na indústria automóvel) estão entre esses *standards* da qualidade que deve ser implementado juntamente com a ISO 9001: 2015 pelas organizações que desejam tornar-se os fornecedores diretos dos OEMs da indústria automóvel (Jumbad, Telang; Samir, Nemade; Anant W., & Chel, 2018).

Um sistema de rastreabilidade permite a visibilidade em tempo real do *Work In Process* (WIP) e dos materiais no chão da fábrica. Elimina o risco de erro humano e ainda fornece o histórico completo do ciclo de vida do produto que vai permitir a resolução de problemas e minimizar o número de produtos que necessitam de serem devolvidos. De forma que a que os dados sejam organizados e geridos adequadamente o sistema de rastreabilidade deve começar pelas especificações de rastreio da peça que são (Jumbad et al., 2018):

- Conexão de dados relativos à quantidade de informação está estritamente dependente da área específica de aplicação;
- Diferentes processos de produção normalmente apresentam diferentes requisitos de rastreio dos produtos;
- A fiabilidade do sistema de *software* orientado para o rastreio é dependente em como a estrutura dos dados está relacionada com o design do *software* da sua implementação.

---

<sup>5</sup> OEM – do inglês *Original Equipment Manufacturer* que se refere ao Fabricante Original do Equipamento

### 2.7.1. Ferramentas de Gestão da Qualidade

A possibilidade de minimizar os custos de produção está relacionada com o facto de se poder utilizar ferramentas da qualidade e métodos da gestão da qualidade em todos os processos das organizações (Dudek-Burlikowska, 2011). Estas ferramentas permitem identificar causas, perceber os processos, recolher e analisar dados, gerar ideias, manter os projetos em funcionamento e tomar decisões para a melhoria contínua das atividades.

Existem 7 ferramentas básicas da qualidade, estas são: o fluxograma, a folha de registo e verificação, o histograma, o diagrama de dispersão, o diagrama de causa-e-efeito, diagrama de Pareto e ainda as cartas de controlo. Estas deveriam ser uma prática usual das organizações de forma a atingirem eficiência e qualidade nos seus serviços/produtos.

O fluxograma tem as suas origens na década XX com o engenheiro industrial Frank Gilbreth que apresentou o fluxograma à Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME – *American Society Of Mechanical Engineers*). Ao longo dos anos o conceito tem vindo a se espalhar pela engenharia industrial, de produção e até de negócios através de *Business Process Diagrams* (BPD) e de processamento de informação. As simbologias mais comuns provêm de agências internacionais de normalização como a *International Organization for Standardizations* (ISO<sup>6</sup>) (Lucidchart Software Inc., 2006).

Os fluxogramas demonstram como os processos de produção estão interconectados com o fluxo de materiais, onde cada caixa representa um processo e as setas um fluxo de materiais, sendo que cada processo é apresentado como um rácio entre o número de *inputs* e *outputs* (Suh & Hupples, 2005). Isto é, mostra a lógica de cada processo, como este deve ser sequenciado e como cada etapa deve ser executada. Existem os fluxogramas horizontais e ainda os fluxogramas verticais.

---

<sup>6</sup> *International Organization for Standardizations*, fundada em 1947 na Suíça com o intuito de padronizar e normalizar normas internacionais



A simbologia associada ao fluxograma está apresentada na Figura 2.9.

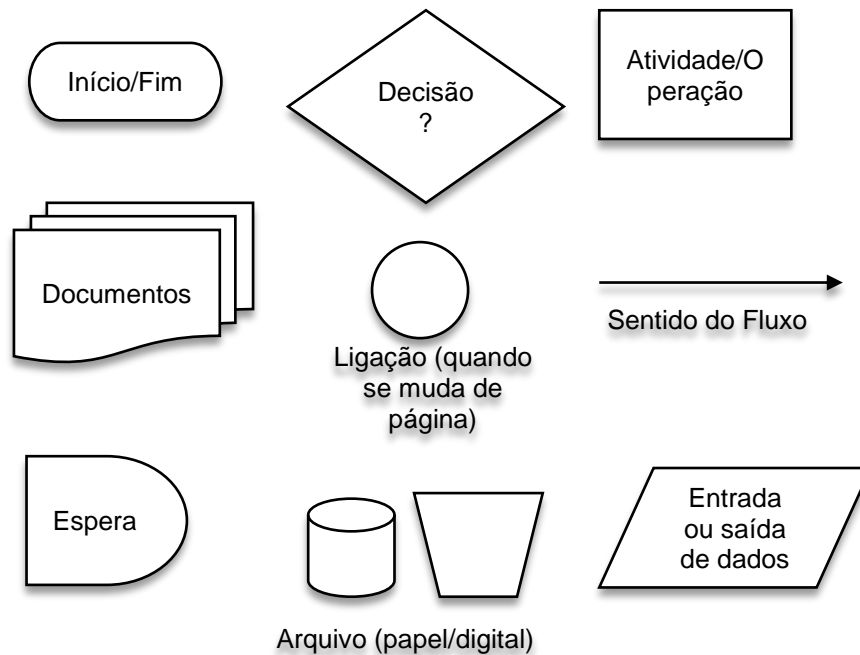


Figura 2.9 Simbologia do fluxograma

Existem ainda 7 ferramentas da qualidade que auxiliam na gestão e no planeamento, são estas: o diagrama de afinidades, o diagrama de relações, diagrama em árvore, diagrama matricial, diagrama de prioridades, gráfico de decisão do processo e ainda o diagrama de atividades.

O diagrama em árvore é uma ferramenta que permite visualizar a estrutura de um problema, fazendo o desdobramento das causas, dos recursos e das ações de melhoria. Esta ferramenta foi criada por H.A.Watson na década 60 com o intuito de identificar as causas primárias das falhas em processo industriais, administrativos, bem como, de projetos (Reis, 2014). O método de aplicação inicia-se com uma falha em particular do sistema (denominada como a causa-raíz) e progredindo para uma árvore lógica até chegar às falhas básicas (Oliveira et al., 2010). A árvore pode ser desenvolvida na vertical ou na horizontal perguntando em cada causa que provoca um efeito indesejável “porquê?”, quando se fala em desdobramento de recursos e das ações de melhoria deve-se perguntar “como?”.

De acordo com a ISO 9000 e ISO/TS 16949, a melhor análise para prevenção de falhas durante a produção é a Análise Modal de Falhas e Efeitos do Processo (Banduka et al., 2016).

Em 1975 a AMFE foi usado no setor nuclear e, em 1978, a *Ford Company* foi a primeira empresa automotiva a integrar a AMFE no seu conceito de garantia da qualidade (Clarke, 2005). No início da década de 1980 as empresas automotivas que formam a AIAG incorporaram formalmente a AMFE, por meio da norma QS-9000 (atual ISO/TS 16949), nos seus processos e no desenvolvimento de produtos. De seguida, a indústria automobilística alemã VDA também adotou este conceito. O procedimento de aplicação da AMFE definido pela VDA é o mais usado na Europa (Bertsche, 2008).

As organizações utilizam estas ferramentas para organizar todos os seus processos de fabrico, começado por estruturar os processos através dos fluxogramas, tomar medidas de prevenção através da AMFE do Processo e definir planos de controlo para os mesmos (ver Figura 2.10) (Jumbad et al., 2018).

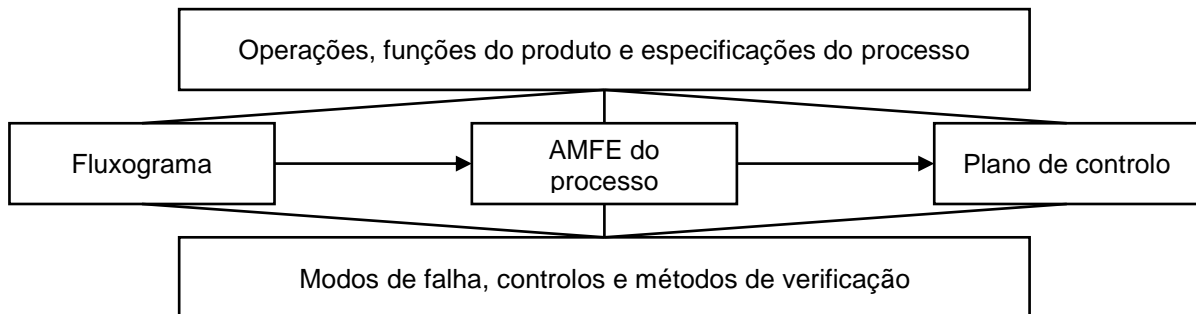


Figura 2.10 Conexão entre o fluxograma, a AMFE do processo e o Plano de Controlo (fonte: Jumbad et al., 2018)

### 2.7.2. Análise Modal de Falhas e Efeitos

Análise Modal de Falhas (AMFE) é o melhor método analítico que as empresas utilizam para prevenir e eliminar os defeitos que possam aparecer ao longo dos processos de produção. A AMFE permite estabelecer uma ligação entre as causas e os efeitos dos defeitos de forma a identificar as ações necessárias para inibir as falhas, bem como, procurar e definir as melhores decisões para eliminar ou reduzir a probabilidade de as falhas ocorrerem (Dudek-Burlikowska, 2011). É importante salientar que as ações tomadas podem aumentar a probabilidade de as falhas serem detetadas, e assim, evitar a entrega de um produto não conforme para o cliente final. No fundo, é uma forma de investigar como um produto, um processo ou um sistema pode falhar e quais são os possíveis efeitos de um modo de falha particular (Kritzinger, 2017). Quando combinado com o sistema de análise dedutivo da árvore de falhas, *Fault Tree Analysis* (FTA), a AMFE, é a ferramenta mais utilizada na indústria automóvel (Neagoe & Martinescu, 2010).

Tornou-se de tal forma uma ferramenta eficiente, quando usada de forma adequada, que desde 1994, a AMFE, é um requisito de qualidade e ao qual é obrigatório para muitas organizações (ver Figura 2.11).

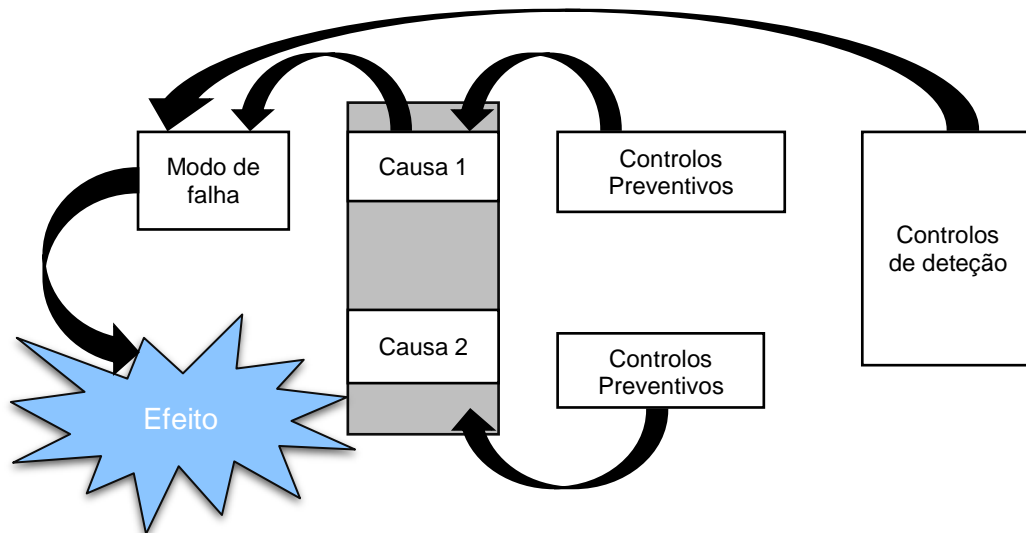


Figura 2.11 Relação entre o modo de falha, a causa, o efeito e os controlos de prevenção e deteção

A AMFE divide-se em 3 diferentes tipos e são manuseados dependendo do tipo e complexidade da entidade técnica a ser analisada. Segundo Bertsche (2008) os 3 tipos de AMFE interrelacionam-se como descrito na Figura 2.12.

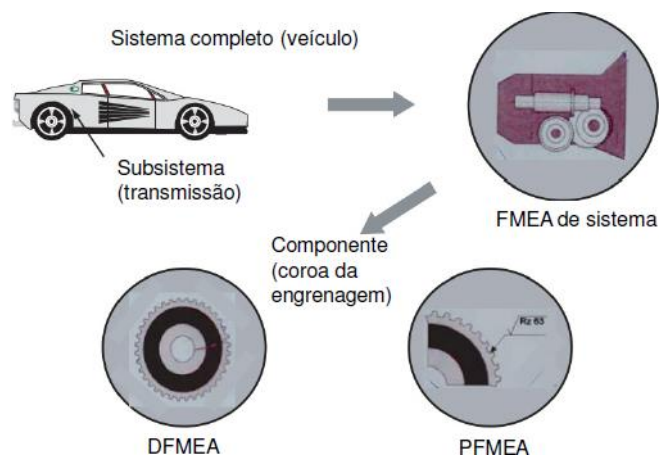


Figura 2.12 Exemplo dos 3 tipos de AMFE e a sua relação (fonte: Bertsche, 2008)

**AMFE do produto** – tem como principal objetivo identificar e prevenir os modos de falha dos produtos que estão relacionados com o seu *design*, de forma a validar os parâmetros do objeto previamente estabelecidos, isto é, trata-se de uma ferramenta voltada para o projeto do produto (Neagoe & Martinescu, 2010). Neste processo cada item do objeto final é analisado, sem exceção, identificando todos os modos e causas potenciais que podem ser gerados, bem como, quais são as medidas de controlo a

serem tomadas (Santana & Massarani, 2005). A mais valia desta ferramenta é que consegue identificar as causas potenciais de falha ainda no início do desenvolvimento do produto o que permite não só mitigar, como também em alguns casos, eliminar os efeitos e o risco de se entregar ao cliente produtos não conformes (Neagoe & Martinescu, 2010).

**AMFE do processo** – tem como objetivo determinar os potenciais modos de falha relacionados com o processo de fabricação/montagem numa linha de produção (Neagoe & Martinescu, 2010). Na indústria automóvel, e não só, a AMFE de processo é utilizada para garantir que não há falhas do produtos no processo de produção (Banduka et al., 2016). Para além de oferecer soluções para melhorar os processos, ajuda a desenvolver s processos futuros e programas para validações de processos. Como a AMFE do produto, identifica potenciais falhas, avalia as causas e o os efeitos da mesmas e propõe soluções para prevenir essas falhas (Banduka et al., 2016). O pioneiro a utilizar a AMFE do processo foi a Ford Motor em 1973 para a manutenção preventiva da qualidade (Korenko et al., 2012).

**AMFE do Sistema** – representa o nível mais alto da AMFE pois influencia os sistemas e subsistemas no estágio inicial da conceção e projeto. Desenvolve-se por normal durante o processo de engenharia do sistema, desenvolvimento do produto, pesquisa e desenvolvimento ou uma combinação dos dois. Tem o propósito de minimizar os riscos das falhas considerando certas especificações do sistema de projeto (Neagoe & Martinescu, 2010).

#### 2.7.2.1. Aplicação da Análise Modal de Falhas e Efeitos

Para a aplicação da AMFE é essencial que se reúna uma equipa que conheça bem o processo e esteja motivada, bem como, ter um conhecimento rigoroso dos requisitos do cliente.

O número de prioridade de Risco, equação (1), é o indicador de avaliação da falha e permite hierarquizar as prioridades de ação, quando este é elevado devem-se tomar medidas corretivas. No entanto, é importante referir que podem ocorrer situações onde o NPR não é alto, mas a Gravidade, G, é e nessas situações deve-se atuar de imediato.

$$NPR = G \times O \times D \quad (1)$$

Onde,

*G*: gravidade do efeito provocado pelo modo de falha

*O*: índice de ocorrência

*D*: índice de deteção

A escala normalmente é de 1 a 10 para as 3 variáveis e é avaliado por todos os elementos da equipa. Para a identificação da gravidade do efeito deve-se ter em consideração a operação seguinte, o produto final e o cliente. Já a ocorrência tem a ver com a probabilidade de o modo de falha ocorrer. Para o índice de deteção deve-se ter em consideração a probabilidade dos modos de controlo atuais, ou os a implementar, detetarem a causa antes do cliente. Para este índice deve-se ter em atenção a pontuação dada pois, ao contrário dos outros 2 índices, o *D* é quanto maior for, menor é a probabilidade de deteção, o que é algo negativo pois significa que a organização não consegue na totalidade detetar falhas antes do produto chegar ao cliente final. As tabelas seguintes, Tabela 2.5, Tabela 2.6 e Tabela 2.7 mostram os critérios utilizados, por norma, para definir uma pontuação para cada índice.

Tabela 2.5 Índice de gravidade dos efeitos

<b>Critério</b>	<b>Efeito no cliente</b>	<b>G</b>
Pouco significativa. A falha pode causar algum efeito no rendimento do produto	Efeito mínimo. O cliente não será capaz de detetar a falha	1-2
Pouco importante. A falha causa somente ligeira inconveniente ao cliente	Efeito menos. O cliente não notará deterioração alguma no rendimento do produto	3-4
Moderada. A falha causa certo descontentamento no cliente	Efeito maior. O cliente observa certa deterioração no desempenho do produto	5-6
Grave. A falha causa grande descontentamento no cliente	Efeito crítico. Grande deterioração no desempenho do produto, sem pôr ainda em causa a segurança ou o não cumprimento de requisitos legais	7-8
Muito grave. A falha causa problemas de segurança	Segurança afetada. O produto não cumpre os requisitos legais e/ou de segurança	9-10

Tabela 2.6 Índice de ocorrência consoante a sua Probabilidade ((P(O))

<b>Critério</b>	<b>Efeito no cliente</b>	<b>P(O)</b>	<b>O</b>
Muito escassa	Falha inexistente em projetos anteriores	0	1
Escassa	Muito poucas falhas em projetos anteriores	1/20000	2
		1/4000	3
Moderada	Falha que apareceu ocasionalmente anos anteriores, mas em pequena quantidade	1/1000	4
		1/400	5
Frequente	Falha associada a uma conceção deficiente ou a um procedimento de controlo não adequado	1/80	6
		1/40	7
Elevada	Falha que tenha causado com frequência problemas no passado. Pode também ser uma falha causada por uma omissão numa etapa crítica da conceção e desenvolvimento.	1/20	8
		1/8	9
Muito elevada	Probabilidade elevada de a falha vir a ocorrer em grandes proporções	1/2	10

Tabela 2.7 Índice de deteção consoante a probabilidade de o produto chegar com defeito ao cliente

<b>Critério</b>	<b>D</b>
Probabilidade remota de um defeito chegar ao cliente	1-2
Probabilidade baixa do efeito chegar ao cliente	3-4
Probabilidade moderada do defeito chegar ao cliente	5-6
Probabilidade elevada do defeito chegar ao cliente	7-8
Probabilidade muito elevada do defeito chegar ao cliente	9
De certeza que o defeito chega ao cliente	10

## 2.8. Modelação - *Unified Modelling Language*

*Unified modelling language* (UML) é uma linguagem gráfica utilizada para visualizar, construir, especificar e documentar artefactos de um sistemas, isto é, através de uma notação com semântica associada ajuda a modelar sistemas (Lucas, Bulbul, & Thabet, 2013). Permite descrever a estrutura e o comportamento de um programa de *software* de um sistema e a sua semântica foi desenvolvida com o âmbito de ajudar os *designer* de sistemas a comunicarem entre si sem ambiguidades (Savino & Xiang, 2017). A UML provou ser uma ferramenta bem sucedida quando se trata de modelar sistemas extensos e complexos, servindo de base para o desenvolvimento e implementação de programas de *software* (M. A. López-Campos et al., 2013). Apesar de não ser uma ferramenta ambígua, não possui regras rígidas quanto às suas notações e o significado das mesmas pode ser alargado consoante as necessidades dos *designers*/programadores (Savino & Xiang, 2017).

Teve a sua origem em 1996 com a colaboração de 3 engenheiros de programação, Grady, Booch e Rumbaugh, que lançaram o UML 0.9 e 0.91 para proporcionarem clareza aos programadores através de novos padrões (Cook, 2012).

A primeira versão aceite pela OMG<sup>7</sup> foi a 1.1 em dezembro de 1997 que rapidamente se apercebeu a importância deste tipo de linguagem para a programação de *softwares*. Atualmente, é possível encontrar a última versão, 2.5, no portal da OMG que foi lançada em 2015. É importante perceber que não se trata de uma linguagem de programação nem uma metodologia, no entanto, é possível existem programas que permitem gerar códigos através dos diagramas UML (Savino & Xiang, 2017).

Existem 9 diagramas *standard* que permitem a modelagem dos sistemas, estes podem ser divididos em diagrama de visão estática ou estruturais e diagramas de visão dinâmica ou comportamentais. Dentro da visão estática existem os seguintes diagramas: de casos de uso (*use case*), de classes, de objetos, de componentes e de distribuição (*deployment*); já dentro dos diagramas de visão dinâmica existem os de sequência, de colaboração, de estados (*statechart*) e de atividades.

### 2.8.1. Diagrama de caso de uso

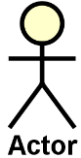

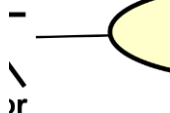
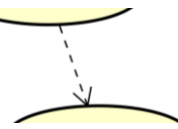
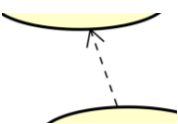
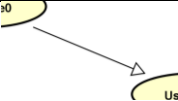

O diagrama de caso de uso é um método eficaz na captura de fluxo de operações e requisitos das funções de um sistema. Uma das maiores vantagens é que ajuda na gestão de sistemas complexos (Vanany & Rahmawati, 2014). Por norma é conhecido como diagrama de comportamento que descreve um conjunto de ações (casos de uso) que algum sistema ou sistemas (sujeito) deve ou pode realizar em colaboração com um ou mais usuários externos do sistema (atores) (Fakhroutdinov, 2011).

A Tabela 2.8 apresenta as possíveis simbologias utilizadas no diagrama de caso de uso e o seu respetivo significado.

---

<sup>7</sup> OMG – *Object Management Group* trata-se de uma organização internacional voltada para aprovações de padrões tecnológicos, aberta a membros, sem fins lucrativos e fundada em 1989 (Lucichart Software Inc., 2018)

Tabela 2.8 Simbologia do diagrama de caso de uso

Representação gráfica	Designação	Significado
	Ator	Especifica o papel de alguém ou algo do ambiente envolvente quando interage com o sistema.
	Caso de uso	descrição de um conjunto de sequências de ações, incluindo variantes que um sistema realiza para produzir um resultado observável com valor para um ator.
	Associação	Os atores e casos de uso podem ser associados para indicar que o ator participa no caso de uso.
	"include"	Quando vários casos de uso têm uma subsequência de funcionamento comum, é conveniente separar essa parte comum para um novo caso de utilização que é incluído pelos primeiros
	"extend"	Para simplificar a descrição dos casos de uso, podem-se organizar os casos de uso em casos básicos e extensões aos casos básicos, que traduzem partes ou modalidades acrescentadas condicionalmente (opções)
	Generalização	Entre uma coisa mais genérica e uma coisa mais especializada
	Relação	Relação entre a especificação e a sua implementação

## 2.8.2. Diagrama de classes

O diagrama de classes é uma forma de representar os principais componentes de um *software* através de um *design standard*, as suas relações e a troca de informação que existe entre estes (M. López-Campos et al., 2014). Isto é, descreve a relação entre os objetos e os dados dos processos de produção. Assim que o esquema da base de dados está feito com o diagrama de classes, pode ser traduzido por um clássico esquema de Sistemas de Gestão de Base de Dados com um algoritmo quase mecânico. Pode ser utilizado para vários propósitos e diferentes momentos das fases do desenvolvimento (Savino & Xiang, 2017).



Fazendo parte do UML é um modelo estático que fornece uma plataforma para modelos dinâmicos. Cada classe contém 3 componentes que são: (i) nome, (ii) atributo e (iii) operações (ver Figura 2.13). As classes representam um conjunto de objetos que partilham os mesmos atributos, operação, relações e semântica. Isto é, representa as relações entre as “coisas” (Vidgen, 2003).

Existem 3 tipos de valores para a visibilidade (nível de acessibilidade de um atributo):

- +, *public* (visível por todas as classes);
- #, *protected*, (visível na classe e nas subclasses);
- -, *private* (visível unicamente na classe).

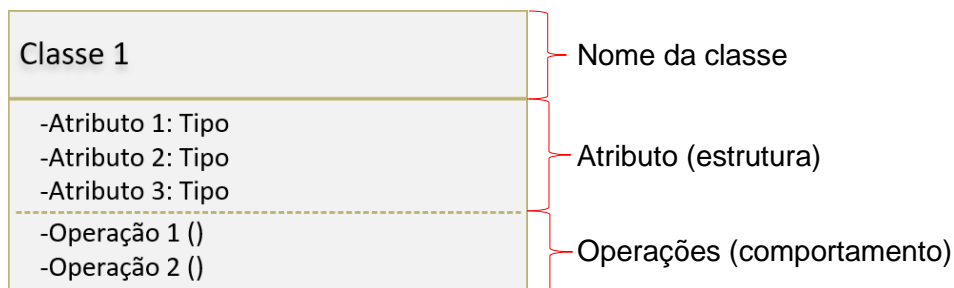


Figura 2.13 Representação gráfica de uma classe

As classes vão se relacionar entre si o que vai permitir a partilha de informação e colaboração com a execução dos processos do sistema. Existem vários tipos de relacionamentos entre os objetos de um ou mais classes como:

- Associação (relação estrutural entre as classes representada por uma linha contínua que permite uma classe navegar para outro e vice-versa)
  - Agregação
  - Composição
- Generalização
- Dependência

Outra característica do diagrama de classes é a multiplicidade. A multiplicidade representa o número de objetos que está relacionada com outros objetos, onde estão limitados por um limite inferior não negativo e um limite superior que pode ser infinito (UML, 2018). As multiplicidades possíveis são:

Um para um	1 → 0..1
Um para muitos	1 → 0..*
Muitos para muitos	0..* → 0..*

### 2.8.3. Business Process Model and Notation

*Business Process Model and Notation* (BPMN) é uma notação gráfica que permite modelar os processos de negócio complexos de uma organização de uma forma simples e intuitiva para que todos as entidades sejam capazes de interpretar (OMG, 2011). A partir do 2006 ano esta notação tornou-se como uma notação *standard* para modelação de processos de negócio (Moody, 2009). Descreve a lógica dos processos de negócio passo a passo por meio de diagramas, baseado na linguagem XML (*eXtensible Markup Language*), isto é, uma linguagem de marcação composta por códigos agrupados que são associados de dados ou textos que podem ser interpretados tanto por pessoas como por computador. Primeiramente, foi desenvolvido pela *Business Process Management Initiative*, no entanto, atualmente é gerido pelo OMG (Genon, Heymans, & Amyot, 2010). De momento encontra-se na versão 2.0 que oferece novos elementos como: eventos assíncronos, temporizados e subprocessos (OMG, 2011). Segundo Mili *et al.* (2010) três tipos de modelos de negócio podem ser representados por esta notação, como:


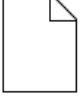




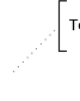




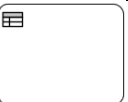







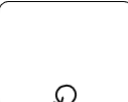



- **Processos de negócio privados** – processos internos de uma organização que normalmente podem ser implementados por um sistema de gestão de fluxo de trabalho
- **Processos abertos de negócios públicos** – este tipo de modelo representa os pontos de interação entre um processo interno de uma organização e o mundo exterior. Mostra a interface pública de um processo interno em termos das mensagens que o desencadeiam e as subseqüentes trocas de mensagens entre o mesmo e o mundo exterior.;
- **Processos de colaboração** – Estes processos descrevem as interações entre duas ou mais organizações/entidades empresariais, em que cada uma tem os seus próprios processos internos.

Esta notação considera-se uma valia pois consegue uniformizar a notação entre os três tipos de processos acima referidos, acabando com o problema da ambiguidade.

Existem 5 elementos essenciais para modelar um sistema de negócio:

- **Artefactos** – servem para agrupar todas as informações de texto;
- **Objetos de fluxo** – elementos gráficos que apresentam o comportamento do processo. Inclui os eventos (início, fim e tarefas), as *activities* e os *gateways*;
- **Objeto de dados** – é o *input* e o *output* dos dados;

- Objetos de conexão – representa a forma como os objetos de fluxo de interligam entre sim, podem ser linhas de fluxo, de mensagens de dados;
- Objetos *Swimlanes* – é uma forma de organizar todas as tarefas por categorias (*pools* e *lanes*).

Atividades		Artefactos	
	Representação de uma atividade do processo		Documento – Documentos de <i>input</i> ou <i>output</i> de uma atividade do processo
Tipos de atividades			Sistema - Necessidade de armazenar dados num determinado sistema
	Utilizador – Atividade executada por um utilizador num sistema		Grupo – Agrupamento de atividades
	Manual – Atividade de envio ou recebimento de uma mensagem		Anotação – Caixa de texto para anotação de informação adicional sobre o processo
	Mensagem – Atividade de envio ou recebimento de uma mensagem	Gateways	
	<i>Script</i> – Atividade realizada pelo sistema para execução de um <i>script</i>		Elementos utilizados para representar divergência ou convergência no fluxo
	Serviço – Atividade executada pelo sistema com o objetivo de buscar dados a outros sistemas ( <i>webservices</i> )	Tipos de gateways	
	Regra de negócio – Atividade executada pelo sistema para aplicação de regras de negócio		Exclusivo – Direciona o fluxo do processo com base numa condição que pode ser apenas um resultado
Subprocesso			Paralelo – Representa atividades que devem ocorrer em simultâneo
	Conjunto de atividades que executam uma parte do processo		Inclusivo – Divide o fluxo do processo com base num evento que deva ocorrer
Tipos de subprocessos			Baseado em eventos – Direciona o fluxo do processo com base num evento que deve ocorrer
	Múltiplo - Conjunto de atividade que se repete N vezes, de forma paralela		Complexo – Representa condições complexas, não cobertas pelos restantes <i>gateways</i>
	<i>Loop</i> – Conjunto de atividade que se repete N vezes, de forma sequencial		Evento de início – Evento que despoleta o arranque do processo
	<i>Ad-Hoc</i> – Conjunto de atividades que podem: - Ser executadas de qualquer ordem; - Ser executadas diversas vezes;		Evento intermédio – Evento que ocorre durante a execução do processo

Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel


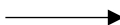



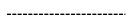






	- Ser não executadas		
<b>Conectores</b>			Evento de fim – Evento que termina um processo
	Fluxo de sequência – Sequência das atividades, <i>gateways</i> e eventos		Mensagem – Indica que uma mensagem é recebida ou enviada
	Fluxo de mensagem – Sequência de mensagens entre duas entidades do processo		Temporizador – Define um determinado tempo para início ou espera num processo
	Associação – Associa informação adicional sobre o processo		Condicional – Determina que um processo inicia ou continua quando uma regra de negócio se torna verdadeira
<b>Pool e lanes</b>			Link – Conecta duas seções do mesmo processo
	Pool – Área onde o processo é representado		Sinal – Envia ou recebe sinais no decorrer do processo
	Lane – Subdivisão de uma <i>pool</i> que representa um interveniente no processo, do tipo <i>role</i> ou área organizacional (órgão)		Múltiplo – Indica que existem diversas formas para iniciar ou continuar um processo e todas elas devem ocorrer para o processo seguir
	Milestone – Subdivisão de uma <i>pool</i> em fases de um processo		

Figura 2.14 Componentes do Diagrama BPMN (adaptado de OMG, 2011)



### 3. Caso de Estudo

#### 3.1. Caracterização da empresa

O grupo *Delphi* é um dos maiores fornecedores de componentes eletrónicos da indústria automóvel. A dissertação irá desenvolver-se numa das unidades que o grupo *Delphi* possui em Portugal, nomeadamente, o complexo fabril do Seixal que se dedica, maioritariamente, na produção de ignições, atuadores e sensores, sendo que toda a sua produção é exportada. O caso de estudo focar-se-á numa unidade de produção responsável pela fabricação de bobinas de ignição que têm como cliente final o Grupo PSA.

O tema da dissertação terá como base a modelação de sistemas de informação que auxiliem, de uma forma eficiente, a rastreabilidade de um componente produzido numa empresa do ramo da indústria automóvel, *Delphi Automotive Systems Portugal*, garantindo qualidade nos produtos entregues ao cliente.

#### 3.2. Sistema de produção das bobinas de ignição

O tema proposto foca-se na linha de produção de um componente específico pertencente aos motores de automóveis movidos a gasolina. O objeto em questão é denominado de bobinas de ignição (denominado por EB) e tem como principal função acumular carga do sistema elétrico de baixa tensão do automóvel e descarregar na vela de ignição no momento em que se faz a ignição, criando assim, uma faísca elétrica que desencadeia um ciclo de compressão e faz o veículo mover. Estes são componentes que estão sujeitos a altas tensões elétricas (até 45 000 V) e por isso têm que apresentar altos desempenhos ao longo do ciclo de vida de um veículo. Existem determinados requisitos elétricos, mecânicos, térmicos e eletroquímicos aos quais estas têm que garantir, como (Beru, 2014):

- Resistir a uma gama de temperatura de  $-40^{\circ}$  a  $+180^{\circ}$ ;
- Tensão secundária até 45 000 V;
- Corrente primária 6 a 20 A;
- Energia de ignição 10 mJ até aproximadamente 100/200 mJ;
- Gama de vibração até 55g;
- Resistência à gasolina, óleo e fluído dos travões.

As bobinas de ignição são constituídas essencialmente por um filamento primário de cobre (bobina primária), um filamento secundário de cobre (bobina secundária),

núcleo de ferro (*core*), uma caixa com material de isolamento (*case*) e por fim uma resina chamada de epóxi, que isola as bobinas garantindo proteção contra humidade e elementos estranhos, e ainda, permite a condução elétrica.

Segundo Weng G., *et al.* (2017), o *Bill Of Materials* (BOM) é um elemento importante para a qualidade dos dados de um componente (Weng et al., 2017). O propósito do BOM é de especificar os componentes e os materiais necessários para produzir o produto, bem como, descrever a sequência da sua montagem (Alkaabi, 1994). A Figura 3.1 apresenta o BOM da bobina de ignição.

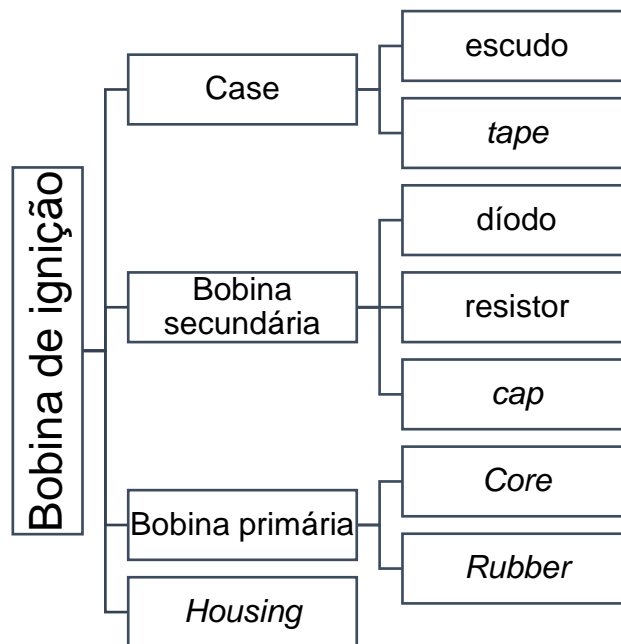


Figura 3.1 *Bill Of Materials* da bobina de ignição

Os processos envolvidos no processamento estão apresentados no fluxograma da Figura 3.2, onde estão representadas as máquinas e os processos envolventes no desenvolvimento da bobina de ignição.

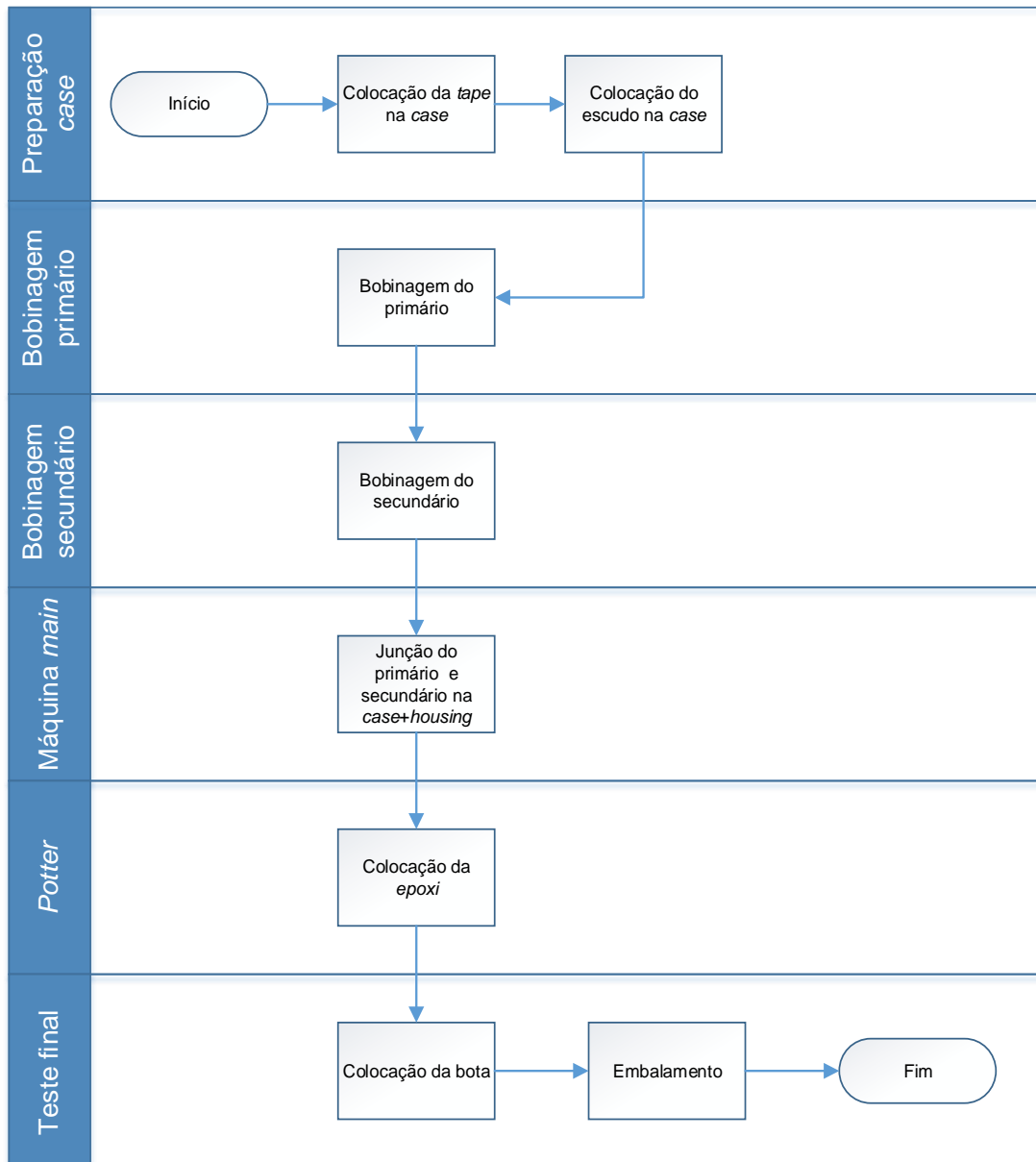


Figura 3.2 Fluxograma referente ao processo produtivo da bobina de ignição

Esta linha de produção funciona através de um *manager* que é o responsável por todas as decisões e problemas que ocorrem dentro da mesma, um coordenador de linha ao qual vai ser responsável por, no início de cada turno, recolher todas as informações relevantes sobre a produção, tais como: (i) as quantidades a produzir, (ii) o *downtime*, (iii) níveis de *scrap*/retrabalho, entre outros e um técnico responsável pela manutenção das máquinas que constituem a linha. Seguindo a hierarquia, vem o treinador de linha que vai ser responsável por assistir os operadores, participar na produção e tomar decisões menores que eventualmente ocorram, como também, reportá-los ao coordenador. No final encontram-se os operadores que vão rodando de posto de



trabalho ao longo do seu turno. A Figura 3.3 representa a constituição da linha de produção das bobinas.

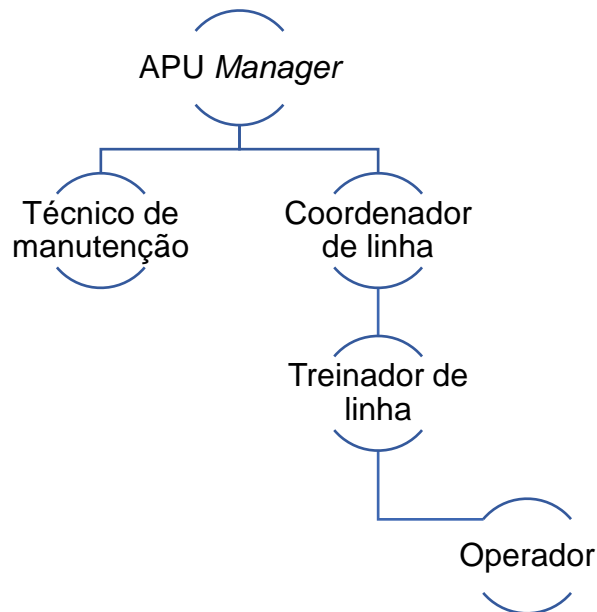


Figura 3.3 Hierarquia da linha de produção das bobinas

Todos os elementos da linha têm funções fundamentais dentro da mesma, sendo que o operador é um elemento fulcral. O operador participa manualmente em muitas das operações, e por isso, vão ser grandes influenciadores na qualidade do produto final. Neste caso específico, o operador para além da interação que tem com as máquinas de produção tem três grandes responsabilidades acrescidas: (i) o operador é responsável pela rastreabilidade manual dos produtos de retrabalho/*scrap* e pelos produtos conformes; (ii) inspeções visuais em vários pontos específicos da linha; (iii) retrabalho manual das peças não conformes.

Diariamente são produzidas cerca de 8 400 peças que são enviadas para um armazém localizado fora de Portugal, ao qual vão estar armazenados até serem dirigidos ao cliente final, neste caso o grupo PSA.

### 3.3. Caracterização do problema

No contexto da produção, a Delphi viu-se com algumas dificuldades em realizar o processo inverso do rastreio quando este é necessário. Existem vários cenários em que o rastreio das peças é essencial, como por exemplo:

- Peças suspeitas de estarem *out of spec*<sup>8</sup> que passaram ao longo de toda a linha e estão em vias de serem embarcadas para o cliente final;
- Peças confirmadas de serem não conformes que já se encontram no cliente final e ao qual é necessário fazer *recall*;
- Peças suspeitas que necessitam de passar por testes de qualidade laboratoriais.

Na proposta do tema da dissertação foram apresentados diferentes cenários (Tabela 3.1) onde o sistema de rastreio das bobinas de ignição é ineficiente ao longo da sua produção e onde se encontram diferentes falhas quando este é necessário.

Todos os problemas apresentados relativos aos cenários possíveis demonstram como o sistema de rastreio é ineficiente quando é necessário recorrer a ele. Na realidade, o sistema de rastreio é importante apenas em casos específicos como anteriormente referidos e por isso nem sempre é dada a devida importância ao mesmo. No entanto, um sistema ineficiente leva a atividades demoradas que não acrescentam qualquer valor à empresa.

São distinguidos dois processos diferentes: (i) o processo de fabrico contínuo e (ii) o processo de retrabalho em que o rastreio tem se mostrado pouco eficiente e por isso será o foco para o desenvolvimento desta dissertação.

Após a análise dos problemas em questão identificaram-se essencialmente oportunidades de melhoria através do *lean manufacturing* de forma a reduzir desperdícios que incorrem num rastreio deficiente, nomeadamente, reduzindo tempo, reduzindo o número etapas de produção e por fim reduzindo o número de defeitos.

---

<sup>8</sup> *Out of spec* – fora da especificação

Tabela 3.1 Os vários cenários possíveis de problemas onde é necessário um rastreio eficiente

Nº	Cenário	Problema
1	Sabendo que se trata de uma produção contínua, quando uma peça falha no teste final, esta vai para o laboratório para testes mais específicos. Quando a falha é confirmada é necessário testar todas as peças pertencentes ao lote.	1 lote contém 24 caixas e não existe ligação entre o número de caixa e o da peça. É necessário abrir todas as 24 caixas e ler o código DMC peça a peça.
2	Apercebe-se que existe um problema na máquina <i>main</i> às 10 horas da manhã. É necessário testar o lote todo que foi produzido às 10 horas da manhã.	Os lotes normalmente estão ainda na linha de produção, e é necessário procurar lote a lote para ver qual foi produzido a essa hora através da folha de rastreio que está em cima de cada lote.
3	Concluiu-se que um problema na máquina <i>main</i> afetou 10 peças.	Em 480 peças onde estão as 10 peças? Tem que se ler as 480 uma a uma.
4	Após análises laboratoriais concluiu-se que há suspeitas de vários lotes poderem estar comprometidos e por isso necessitam de ser testados	Não existe nenhum critério rigoroso que defina quais são os lotes a serem analisados, normalmente é feita uma análise qualitativa onde se observam mudanças que possam ter ocorrido, como por exemplo, mudança de operador, mudança de um componente da máquina, etc.
5	Depois da <i>potter</i> ou do teste final as peça podem ir para a gaiola <sup>9</sup> onde são feitos trabalhos de retrabalho.	As peças de retrabalho perdem a sua rastreabilidade ao longo do processo de retrabalho, pois não existe nenhum sistema de rastreio para essas peças.

### 3.4. Sistema de rastreio da Delphi

O sistema de rastreabilidade na linha de produção das bobinas de ignição é baseado em dois métodos: o manual e o automático através do código DMC.

Primeiramente o código DMC é colocado na case da bobina quando este passa pela bobinadora secundária, onde é inserido a bobina secundária na case. A partir daí, todos os dados sobre aquela peça são registados automaticamente numa base de dados. Os dados incluem toda a informação importante como: o número exclusivo (ID), a data e

<sup>9</sup> Gaiola – denominação interna da que se refere ao local onde peças que podem ser reaproveitadas são dirigidas

hora onde passou por cada processo, se sofreu retrabalho na máquina *main*, se a peça passou em todos os testes efetuados ao longo da linha, entre outros.

O método manual começa a partir do fim do processamento da máquina *main* e as peças seguem à *potter*. A rastreio manual é constituído por uma folha A4 onde se regista à mão dados sobre o processo da colocação do secundário, do primário e a montagem da peça, como: número do lote, número do operador que realizou a inspeção e se esta está OK (conforme) ou NOK (não conforme) e a data do início e fim do mesmo lote. No processamento da máquina *main* é onde se realiza o retrabalho automático feito pela própria máquina, devidamente programada para esse efeito, ou retrabalho manual, dependendo do defeito. Estas peças vão para um lote separado das peças conformes e recebem a mesma folha de rastreio, mas de uma cor diferente.

O processamento na *potter* divide-se em 3 partes: (i) pré-aquecimento das peças; (ii) vazamento, e por fim, (iii) a cura que demora cerca de 8 horas. Neste posto de trabalho o registo dos dados é totalmente feito à mão onde se registam vários dados importantes como:

- Hora de entrada da primeira e última paleta que entrou no pré-aquecimento
- Hora de entrada na camara de vácuo da primeira e última paleta;
- Hora de entrada e saída
- Operador responsável no posto do trabalho;
- Lote;
- Data.

No final do processamento na *potter* o lote segue para máquina do teste final onde as peças vão passar pelos testes finais e por fim colocados em caixas com o respetivo *partnumber*, *master number*, operador, data, quantidade, e número de caixa, que são inseridos manualmente pelo operador no chamado talão de paleta. A folha de rastreio que vem da máquina *main* até à *potter* é arquivada na máquina do teste final. Estas caixas seguem para o armazém onde vão ser armazenadas por tipologia respetiva.

Resumidamente, os objetos pertencentes à rastreabilidade são: **base de dados, talão de paleta e folha de rastreio** e o seu fluxo está representado na Figura 3.4.

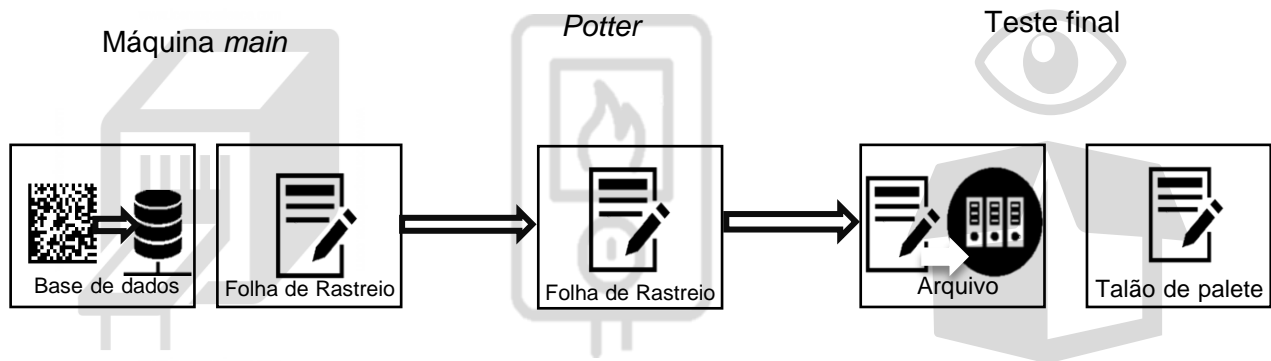


Figura 3.4 Fluxo dos objetos de rastreio

É sabido que as peças provenientes da máquina da bobinagem do primário e da colocação da *tape* e da *case* não são marcadas com nenhum código e por isso alguns componentes como o *core*, *cup* e *case* são reaproveitados, desde que apresentem as condições necessárias, os restantes são considerados *scrap*. Da máquina da bobinagem do secundário, qualquer peça que verifique falha é considerada *scrap*. Por estas razões, o segmento de foco para o desenvolvimento da dissertação será a partir da máquina *main* até ao embalamento e armazenamento das peças em lotes.

### 3.5. Modelo de Análise

O objetivo mais importante será atingir a garantia da satisfação do cliente final melhorando a qualidade do sistema de produção. O sistema de produção depende de vários fatores. No entanto, quando existe um problema de qualidade um sistema de rastreamento é fundamental para perceber as condições de fabrico e consequentemente as causas de falha. Neste contexto, o primeiro passo será entender onde o sistema de rastreio falha. O diagrama em árvore é uma ferramenta útil para entender quais são as causas do problema, definindo qual o problema-raiz, e perguntando sucessivamente em cada “ramo” o porquê desse problema ocorrer/existir. O diagrama anteriormente referido será a base e a ponte para o desenvolvimento da AMFE do processo que ajuda a compreender de forma esquemática quais deverão ser áreas a ter maior atenção de forma a reduzir o risco de insucesso. A seleção das áreas a serem tomadas em consideração para a melhoria das mesmas é feita através do diagrama de *Pareto* que vai ser útil para estabelecer qual é número de prioridade de risco (NPR) mínimo a considerar.

Tratando-se de um sistema de rastreio onde o principal elemento é o tratamento de informação e dados que fluem ao longo da linha de produção, a esquematização do sistema através do BPMN é fulcral para identificar os pontos-chave onde a recolha de informação é obtida e como esta é tratada em termos de rastreabilidade, tanto pelo

operador como pelo sistema. Em primeiro lugar, desenvolve-se um esquema geral de todo o processo, de seguida faz-se um esquema para o *recall* e outro para o retrabalho, ambos incididos no segmento a ser estudado neste caso. Recorre-se de seguida aos diagramas de uso para todos os casos acima referidos que vão ser essenciais para o desenvolvimento dos diagramas de classes. Todos estes diagramas são para o caso *as-is*, isto é, como o sistema está a funcionar neste momento antes de qualquer solução ser executada, desta forma é possível avaliar e tomar decisões quanto à implementação de um sistema de informação viável para o caso em estudo.

A Figura 3.5 representa de forma esquemática quais foram os passos a seguir até chegar a uma proposta de melhoria do sistema de rastreamento das peças de ignição.

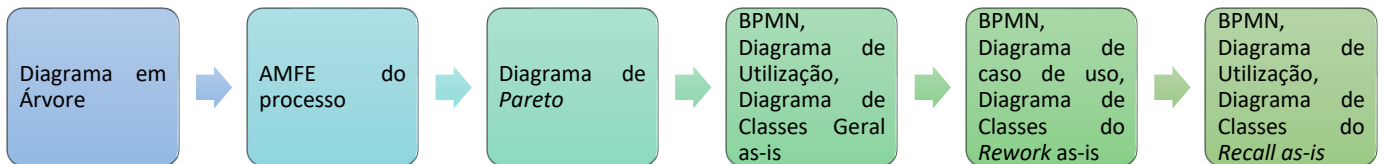


Figura 3.5 Esquemática do modelo do caso de estudo

Tendo por base a pesquisa bibliográfica referente à melhoria do sistema de rastreio, nomeadamente às formas de melhoria do mesmo em contexto da indústria automóvel, precedeu-se à elaboração de uma proposta de um modelo de análise apresentado na Figura 3.6.

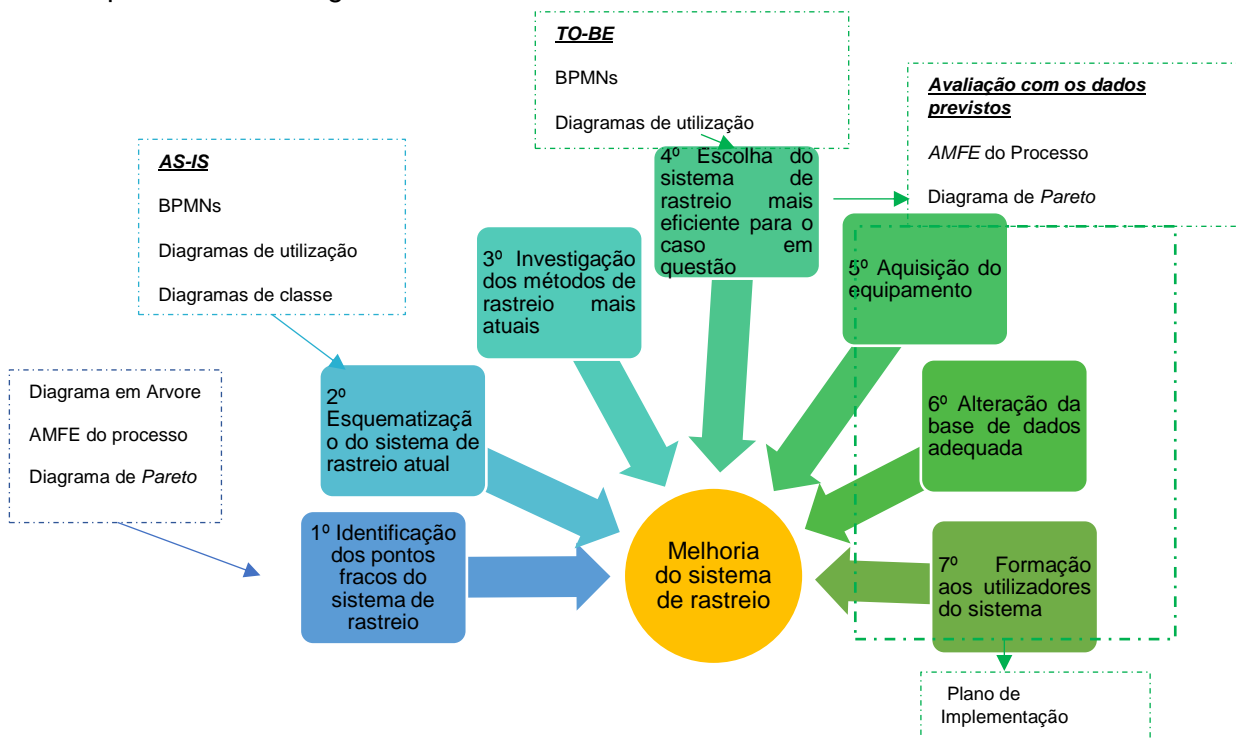


Figura 3.6 Modelo de análise

Os vários componentes são explicados na Tabela 3.2, pretendendo-se utilizar este modelo de análise para seguimento deste caso de estudo.

Tabela 3.2 Descrição do Modelo de Análise

Componente do modelo de análise	Explicação
1º – Identificação dos pontos fracos do sistema de rastreio	A identificação dos pontos onde o sistema falha é fulcral para determinar quais são as áreas a serem levadas em consideração. Tal pode ser obtido através da aplicação de ferramentas da qualidade como as referidas anteriormente
2º – Esquematização do sistema de rastreio atual	A esquematização dos sistemas em causa permite a visualização completa dos mesmos. A utilização do BPMN é uma das formais mais simples e eficazes de visualizar o fluxo de informação e materiais, consoante as necessidades
3º – Investigação dos métodos de rastreio mais atuais	Uma pesquisa extensiva é necessária para que se tenha reconhecimento dos métodos utilizados de momento, sendo este um tema em constante evolução, que toma partido das novas tecnologias.
4º – Escolha do sistema de rastreio mais eficiente para o caso em questão	Após um vasto conhecimento sobre os métodos e equipamentos utilizados, deve se escolher o que melhor se adequa ao caso de estudo em questão. Deve-se ter em conta não só os objetos a serem rastreados, como o tipo de indústria e os recursos disponíveis
5º – Aquisição do equipamento	A aquisição do equipamento consiste na compra ou integração dos recursos disponíveis ao melhoramento que mais se adequa ao caso em questão
6º – Alteração da base de dados adequada	Por norma, a atualização do sistema de rastreio envolve a alteração da estrutura de base de dados. Esta base de dados vai ser responsável por armazenar dados indispensáveis à rastreabilidade dos diferentes objetos
7º – Formação aos utilizadores do sistema	A alteração da estrutura do sistema de rastreio envolve mudanças em toda a linha de produção. Os utilizadores do sistema devem ser formados para manusearem ou saberem reagir ao novo sistema integrado





## 4. Identificação do problema

### 4.1. Diagrama em árvore

Quando foi proposto o tema da dissertação percebeu-se de imediato que a falha ocorria devido a um sistema de rastreio pouco eficiente e que causava transtorno no processamento das peças e na entrega das mesmas ao cliente final. Para encontrar as causas que geram efeitos indesejáveis no sistema de rastreio, foi desenvolvido um diagrama em árvore (Figura 4.1) com o *manager* da APU, que mais conhece processo. Desta forma, é possível ir a mais detalhe do problema-raiz: o rastreio deficiente.

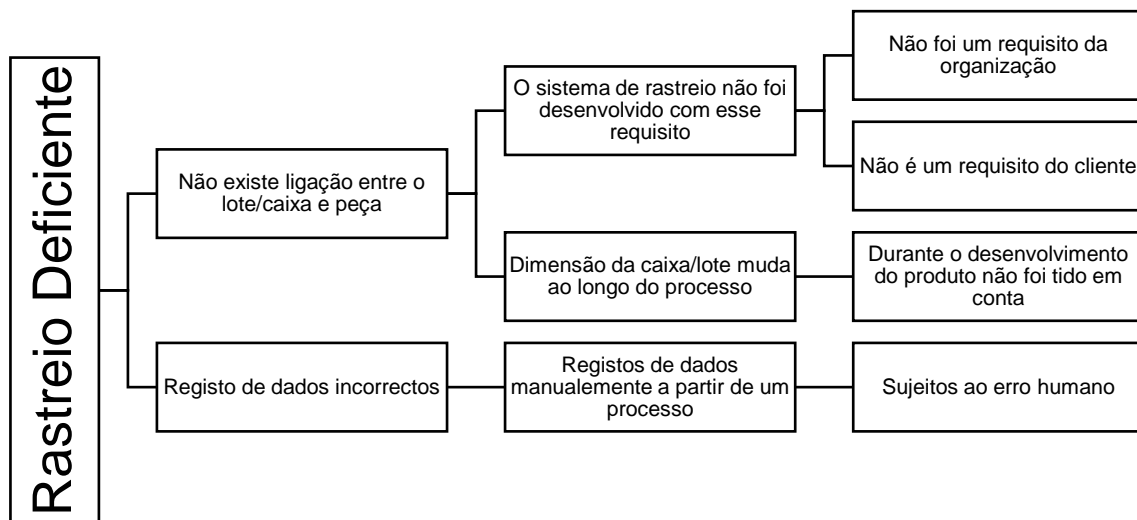


Figura 4.1 Diagrama em árvore

As principais causas encontradas para um rastreio deficiente foram o erro humano e a falta de requisito, tanto da parte do cliente como da própria organização. São estas as causas que tornam o rastreio deficiente e, portanto, áreas a serem a ter em consideração para a proposta de melhoria.

### 4.2. Análise Modal de Falhas e Efeitos

De seguida, foi desenvolvido uma AMFE do processo (ver Tabela 4.1), que incidiu no segmento de interesse, isto é, a partir da Máquina *Main*, e que teve em consideração os *inputs* de informação em termos de rastreio em todas as etapas do processo. As pontuações dadas para a Gravidade, Ocorrência e Detecção foram sempre dadas consoante os interesses do cliente final, isto é, qual o impacto e a gravidade que cada

modo de falha tinha para o cliente final. De modo a priorizar os modos de falha e definir qual o NPR mínimo a considerar para estabelecer propostas de melhoria, aplicou-se o diagrama de *Pareto* (ver Figura 4.2). O diagrama vai permitir identificar a partir de que NPR se deve aplicar ações de melhoria de forma a solucionar as falhas que causam o problema -raíz do rastreio das bobinas de ignição.

Feita a análise da AMFE do processo conclui-se que a maioria dos modos de falha devem-se a um sistema de rastreio desadequado para peças que sofrem um processamento contínuo. Muitos dos métodos utilizados estão sujeitos ao erro humano que potencia erros no tratamento de dados, fundamental para a monitorização das peças. Os potenciais modos de falha focam-se essencialmente na danificação da folha de rastreio, ou até mesmo o seu desaparecimento, e distração no preenchimento das mesmas por parte do operador.

Sendo os métodos utilizados pouco eficientes, a deteção dos modos de falha torna-se impossível, o que agrava bastante o número de prioridade de risco. Não existe nenhum método de deteção para os casos em que operador se distrai na inserção dos dados na folha de rastreio, nos autocolantes ou até mesmo no talão de palete.

Após o tratamento de dados dos NPR através do diagrama de *Pareto*, procede-se às ações recomendadas que vão permitir reduzir a ocorrência e a deteção dos potenciais modos de falha que ocorrem na recolha de dados para o rastreio.

Tabela 4.1 AMFE do processo atual

Processo	Input	PMF	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito da Falha	G	Causas Potenciais	O	Controlos atuais	D	NPR
Máquina main	Folha de rastreio: Número do operador, número do lote, data, hora	A1	Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio	Impossibilidade rastrear o lote	6	Distração, formulário não é simples	5	Não há	10	300
		A2	Operador não preenche a folha	Impossibilidade rastrear o lote	6	Não há folha disponível, distração	3	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	144
		A3	A folha perde-se	Impossibilidade rastrear o lote	6	A folha cai durante a movimentação do lote	2	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	96
		A4	A folha danifica-se	Dificuldade em rastrear o lote	6	Na ocorrência de cair pode-se danificar; alguma substância pode cair em cima da folha	4	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	192
	Leitura automática: ID da peça, data e hora de processamento + parâmetros do processamento	A5	Equipamento não lê a peça	Impossibilidade rastrear a peça	6	Falha do equipamento de leitura da peça	2	verificação do número de peças não lidas pela máquina	6	72
		A6	A peça não tem ID	Impossibilidade rastrear a peça	6	Peça não marcada na operação anterior	2	Não há	10	120
		A7	ID não é legível	Impossibilidade rastrear a peça	6	falha no equipamento da operação anterior	2	Não há	10	120
		A8	Pode ler, mas não regista na base de dados	Impossibilidade rastrear a peça	6	falha de comunicação entre a câmara e a base de dados	2	verificação do número de peças não lidas pela máquina	6	72
Potter	Número do operador, número do lote, data, hora	A9	Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio	Impossibilidade rastrear o lote	6	Distração, formulário não é simples	5	Não há	10	300
		A10	Operador não preenche a folha	Impossibilidade rastrear o lote	6	Não há folha disponível, distração	3	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	144
		A11	A folha perde-se	Impossibilidade rastrear o lote	6	A folha cai durante a movimentação do lote	2	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	96
		A12	A folha danifica-se	Dificuldade em rastrear o lote	6	Na ocorrência de cair pode-se danificar; alguma substância pode cair em cima da folha	4	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	192
	Tabuleiros com as peças mais a falha de rastreio em cima	A13	Erro na correspondência das peças físicas com a folha de rastreio	Dificuldade em rastrear o lote/mistura de lotes	8	Distração do operador, dimensão da caixa diferente da quantidade standard	5	Não há	10	400
Teste final	Tabuleiros com as peças mais a falha de rastreio em cima	A14	Erro na correspondência das peças físicas com a folha de rastreio	Dificuldade em rastrear o lote/mistura de lotes	8	Distração do operador, dimensão da caixa diferente da quantidade standard	5	Não há	10	400
	Folha de rastreio: Número do	A15	Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio	Impossibilidade rastrear o lote	6	Distração, formulário não é simples	5	Não há	10	300

Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

Processo	Input	PMF	Potencial Modo de Falha	Potencial Efeito da Falha	G	Causas Potenciais	O	Controlos atuais	D	NDR
	operador, número do lote, data, hora da entrada e saída da <i>potter</i>	A16	Operador não preenche a folha	Impossibilidade rastrear o lote	6	Não há folha disponível, distração	3	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	144
		A17	A folha perde-se	Impossibilidade rastrear o lote	6	A folha cai durante a movimentação do lote	2	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	96
		A18	A folha danifica-se	Dificuldade em rastrear o lote	6	Na ocorrência de cair pode-se danificar; alguma substância pode cair em cima da folha	4	verificação pelos operadores das operações seguintes	8	192
	Talão de palete	A19	Operador engana-se no preenchimento do talão de palhete	Impossibilidade rastrear o lote	6	Distração	5	Não há	10	300
		A20	Operador não preenche a folha	Impossibilidade rastrear o lote	6	Não há folha disponível, distração	3	verificação pelo armazém	8	144
		A21	A folha perde-se	Impossibilidade rastrear o lote	6	A folha cai durante a movimentação do lote	2	verificação pelo armazém	8	96
		A22	A folha danifica-se	Dificuldade em rastrear o lote	6	Na ocorrência de cair pode-se danificar; alguma substância pode cair em cima da folha	4	verificação pelo armazém	8	192
	Etiqueta da paleta	A23	Etiqueta da paleta não é correta	Reclamação do cliente	8	Troca de etiquetas	4	Leitura das etiquetas e verificação automática na bd da logística, no armazém são lidas as etiquetas	3	96
		A24	Equipamento não lê a peça	Impossibilidade rastrear a peça	6	Falha do equipamento de leitura da peça	2	verificação do número de peças não lidas pela máquina	6	72
		A25	A peça não tem ID	Impossibilidade rastrear a peça	6	Peça não marcada na operação anterior	2	Não há	10	120
		A26	ID não é legível	Impossibilidade rastrear a peça	6	falha no equipamento da operação anterior	2	Não há	10	120
		A27	Pode ler mas não regista na bd	Impossibilidade rastrear a peça	6	falha de comunicação entre a camara e a base de dados	2	verificação do número de peças não lidas pela máquina	6	72
		A28	Para peças rejeitadas (NTF) não tem informação do lote	Dificuldade em rastrear o lote	6	Distração, cair autocolante correspondente	5	verificação indireta pelas folhas de rastreio	8	240
		A29	Para peças rejeitadas (NTF) informação do lote errada	Dificuldade em rastrear o lote	8	Distração	5	Não há	10	400
		A30	Paleta sem etiqueta	Falhar envio da paleta	4	Distração	5	Leitura das etiquetas e verificação automática na BD da logística, no armazém são lidas as etiquetas	3	60

#### 4.2.1. Priorização dos modos de falha (Diagrama de *Pareto*)

Para priorizar os modos de falha ordenaram-se os NPR do maior para o menor como se apresenta na Tabela 4.2, e de seguida calcularam-se os valores dos NPR acumulado que vão dar origem ao Diagrama de *Pareto* da Figura 4.2.

Tabela 4.2 Priorização dos Potenciais Modos de Falha

PMF	NPR	% NPR	% NPR Acum
A13	400	7,56	7,56
A14	400	7,56	15,12
A29	400	7,56	22,68
A1	300	5,67	28,34
A9	300	5,67	34,01
A15	300	5,67	39,68
A19	300	5,67	45,35
A28	240	4,54	49,89
A4	192	3,63	53,51
A12	192	3,63	57,14
A18	192	3,63	60,77
A22	192	3,63	64,40
A2	144	2,72	67,12
A10	144	2,72	69,84
A16	144	2,72	72,56
A20	144	2,72	75,28
A6	120	2,27	77,55
A7	120	2,27	79,82
A25	120	2,27	82,09
A26	120	2,27	84,35
A3	96	1,81	86,17
A11	96	1,81	87,98
A17	96	1,81	89,80
A21	96	1,81	91,61
A23	96	1,81	93,42
A5	72	1,36	94,78
A8	72	1,36	96,15
A24	72	1,36	97,51
A27	72	1,36	98,87
A30	60	1,13	100,00
Total	5292		

Através da análise do diagrama de *Pareto* entende-se que a relação 80-20 nem sempre se verifica e que a que mais faz sentido neste caso seria a partir dos 64,40%, isto é, os principais PMF a considerar são: A13, A14, A29, A1, A9, A15, A19, A28, A4, A12, A18 e A22 (totalizando 12 PMF a considerar de um total de 30 PMF). Esta conclusão vem a partir da análise gráfica do diagrama que permite observar uma maior discrepância do NPR a partir do A22, isto é, 40% dos modos de falha analisados

correspondem a cerca de 64% do NPR acumulado. Na Tabela 4.1 estão sombreados a vermelho os 12 PMF ao qual é necessário implementar ações de melhoria.

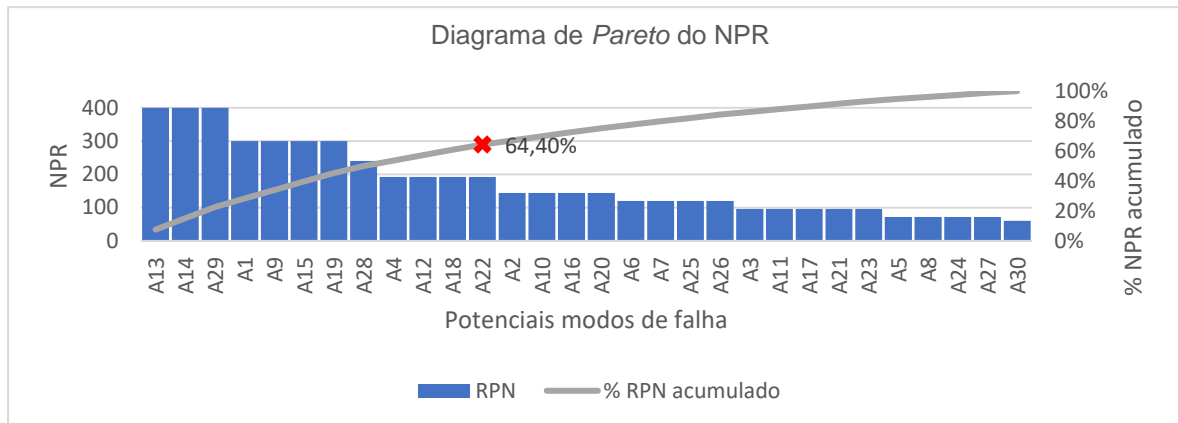


Figura 4.2 Diagrama de Pareto do processo atual

### 4.3. Modelação do processo de produção

#### 4.3.1. BPMN (Geral, Retrabalho e Recall)

Para aplicar medidas de melhoria para os potenciais modos de falha, primeiramente, tem que se entender como funciona a recolha dos dados para formar o sistema de rastreio existente. A Figura 4.3 esquematiza, através do diagrama BPMN, o processo de produção da peça e como é feita a recolha de dados para o rastreio da mesma, isto é, qual é a informação que acompanha o fluxo de materiais apresentados na BOM, que dão origem ao produto final, ao longo da linha. Através do BPMN geral, é possível observar os vários elementos de rastreio que existem ao longo do processo e como o erro humano está presente em diferentes etapas do mesmo. Uma parte dos dados são recolhidos e guardados através de um sistema informático e uma outra parte em papel, que no final do ciclo vai ter informação arquivada.

O BPMN geral está dividido em duas *pools* que vão ser respetivamente, a Logística que é responsável por informar qual é a quantidade diária de produção e todos os dados relativos à encomenda que é necessário enviar, e a Linha de produção, onde vai se proceder a produção do componente e onde será feito o rastreio. Pela análise do esquema é possível observar que se trata de um processo relativamente complexo e que a recolha de dados nem sempre é uniforme, pois existe uma mistura entre recolha para a base de dados, digital, portanto, e ainda uma parte física que corresponde à folha de rastreio. Conclui-se ainda que é necessário a recolha de vários parâmetros e dados importantes ao longo do processo e, portanto, a uniformização seria fulcral.

## Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

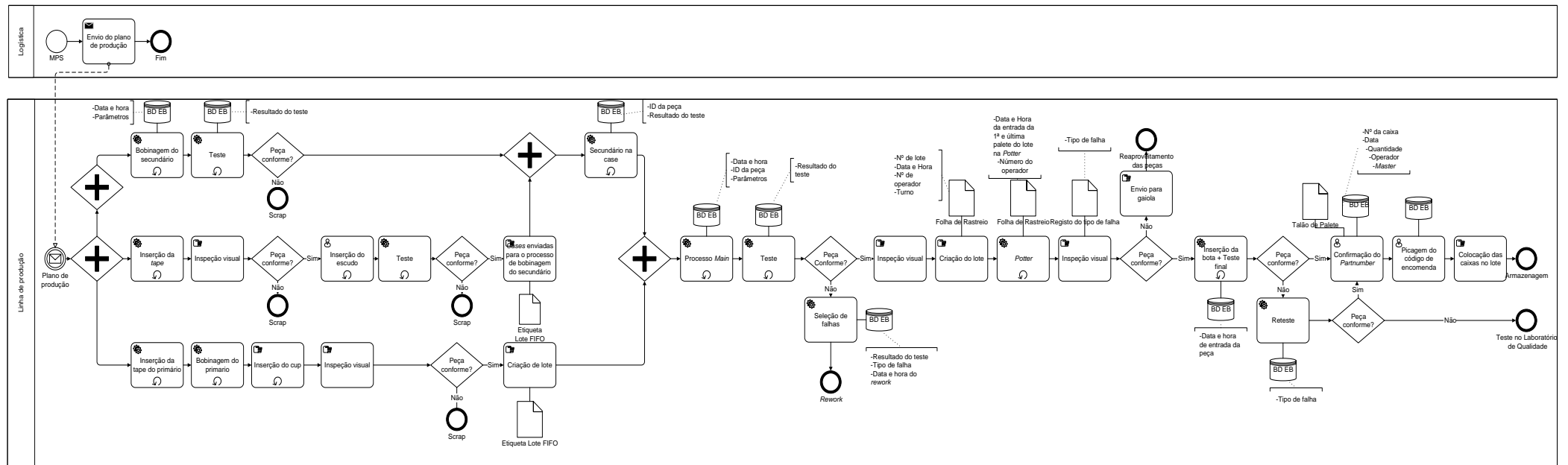


Figura 4.3 BPMN Geral as-is

(Disponível em Anexo página 1)

O processo de retrabalho caracteriza-se por um processo de reaproveitamento dos componentes, ou até mesmo de peças, dependendo de onde as peças provêm. Neste caso, a linha de produção divide-se nas três máquinas, *main*, *potter* e teste final, que apresenta as 3 *lanes* da *pool* “linha e produção” e ainda existe a “gaiola”, como apresentado na Figura 4.4. A gaiola representa um espaço físico à parte onde é especificamente dedicado ao reaproveitamento das peças.

No rastreio de peças, que não se apresentam conformes ao longo da linha, são identificados com um pequeno autocolante onde marca qual o lote respetivo da peça. Estes autocolantes são elementos frágeis suscetíveis a trocas, perdas ou faltas de distração, e portanto, um ponto fraco neste processo. No fundo, o rastreio da peça perde-se no processo do retrabalho, pois não é documentado nem registado.

O processo de *recall*, apresentado na Figura 4.5, é o que vai permitir retorcer as peças suspeitas de serem não conformes. Neste caso, dividido por 3 *pools* diferentes, o diagrama mostra como o processo depende da consulta de 2 bases dos dados (da bobina de ignição e da logística), com o auxílio da folha de rastreio que é o que vai conter o lote correspondente à hora de produção da peça a ser analisada. O lote pode estar em duas localizações diferentes, – no armazém ou já no cliente –, o que vai levar a ações distintas para os dois casos. No armazém, como não existe relação entre o número de caixa onde está um determinado número de peças, é necessário abrir todas as caixas do lote e ler peça a peça até selecionar as que são suspeitas. No caso de se encontrar no cliente, é necessário enviar um aviso que o lote tem que ser enviado de volta à *Delphi*, o que implica custos adicionais.



## Modelação de um sistema de rastreio para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

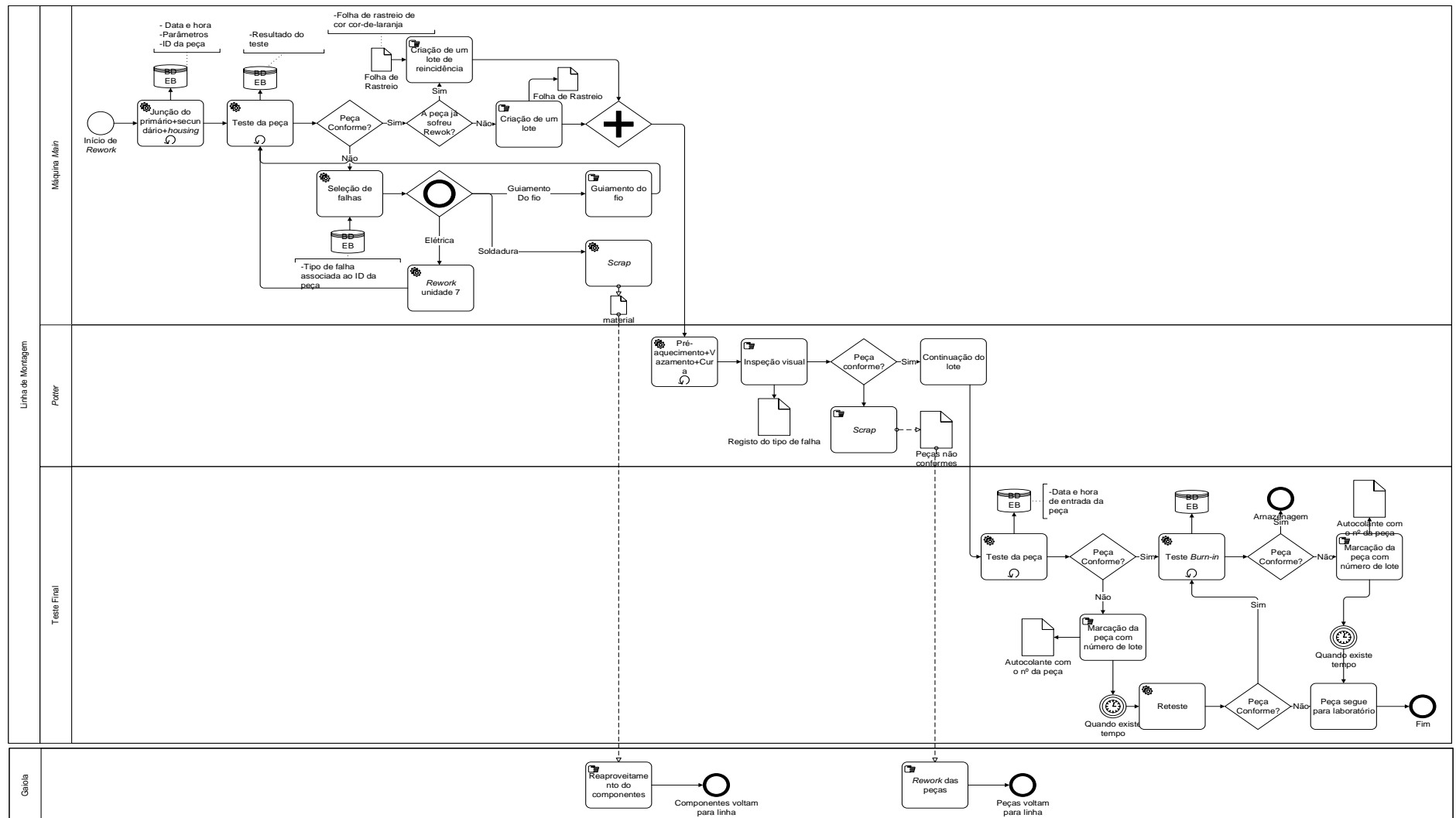


Figura 4.4 BPMN do rework as-is  
(Disponível em Anexo, página 2)

# Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

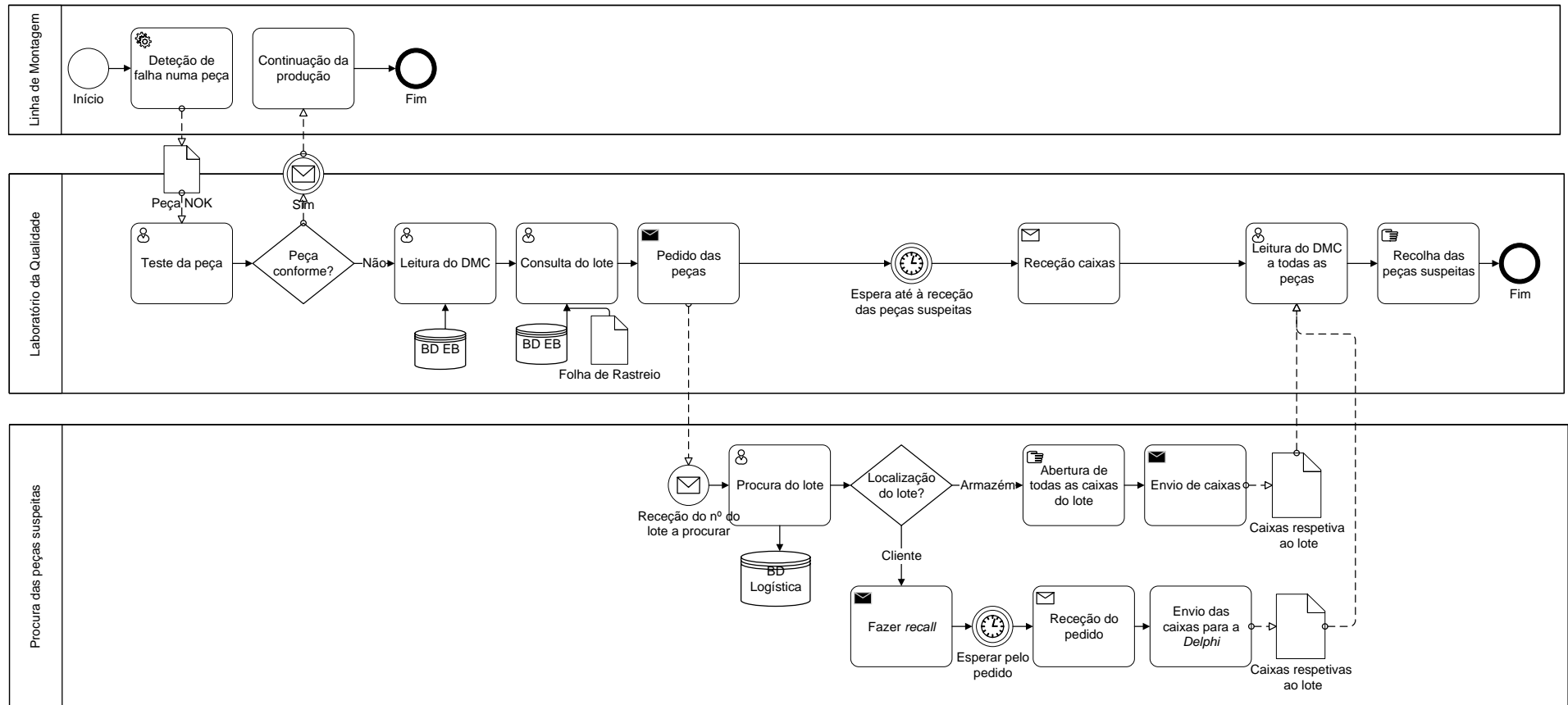


Figura 4.5 BPMN recall as-is

#### 4.3.2. Diagramas de Caso de Uso (Geral, Retrabalho e *Recall*)

De seguida, o diagrama de caso de uso ajuda a entender quais são as relações e comportamentos entre os diferentes utilizadores do sistema. Os utilizadores do sistema podem ser pessoas, um sistema informático, um objeto ou até mesmo a passagem de tempo. Neste caso, os utilizadores do sistema são: a Base de Dados, o Código DMC, o Operador, o Laboratório da Qualidade, A Gaiola e a Folha de Rastreio, que vão estar relacionados entre si através de associações com os casos de uso (ver Figura 4.6).

Estes utilizadores vão interagir entre si e ter certos comportamentos consoante a sua função no sistema. A base de dados tem uma função importante pois interage com vários casos de uso, nomeadamente com os registos sobre a peça. Já o código DMC está diretamente associado à base de dados, pois todos os dados guardados através do código vão estar na base de dados da peça e que, por conseguinte, resulta no rastreio da peça. Já a folha de rastreio está associada ao operador, pois é ele que interage com a mesma, estando também ligada ao rastreio a peça. A gaiola corresponde ao sítio onde as peças com defeitos vão sofrer eventual retrabalho então são reaproveitados componentes, (desde que as peças se encontrem em condições de ser reaproveitadas) e que voltam para a linha de produção. O operador, como foi possível observar pelo BPMN geral, vai também ser responsável, num determinado ponto da linha, pelo retrabalho da peça, o registo manual tanto da peça como de eventuais falhas.

No caso de retrabalho (ver Figura 4.7) os utilizadores vão ser as máquinas que vão responsáveis por detetar uma possível falha e onde se encontra, no caso da máquina do teste final e da *main*, o registo na base de dados dessas mesmas falhas. O autocolante é colocado pelo operado identificando as peças que não passaram a vários testes feitos pelas máquinas e que vão ser enviadas para a gaiola onde é feito o reaproveitamento de componentes e peças.

No processo de *recall* (ver Figura 4.8) os utilizadores vão ser essencialmente relacionados com os elementos de rastreio, pois é nesta situação que eles são essenciais para que o processo inverso ocorra. O laboratório da qualidade tem uma função fulcral pois é o responsável por detetar e tomar a decisão de quais são as peças a serem recolhidas de novo. O laboratório da qualidade recorre à folha de rastreio e à base de dados que notifica o armazém qual o lote suspeito.

## Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

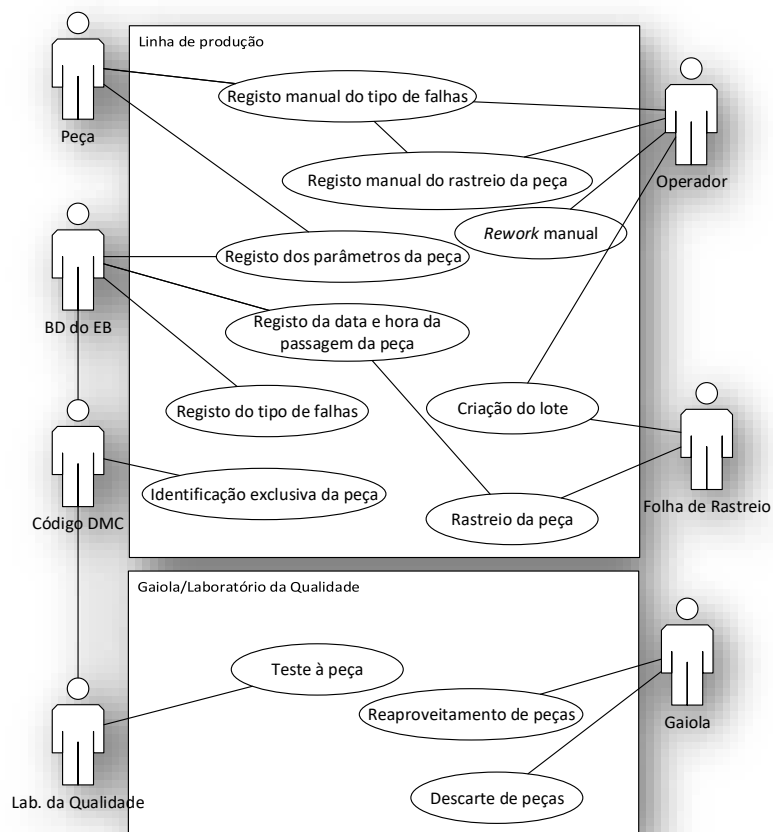


Figura 4.6 Diagrama de Caso de uso do processo geral as-is

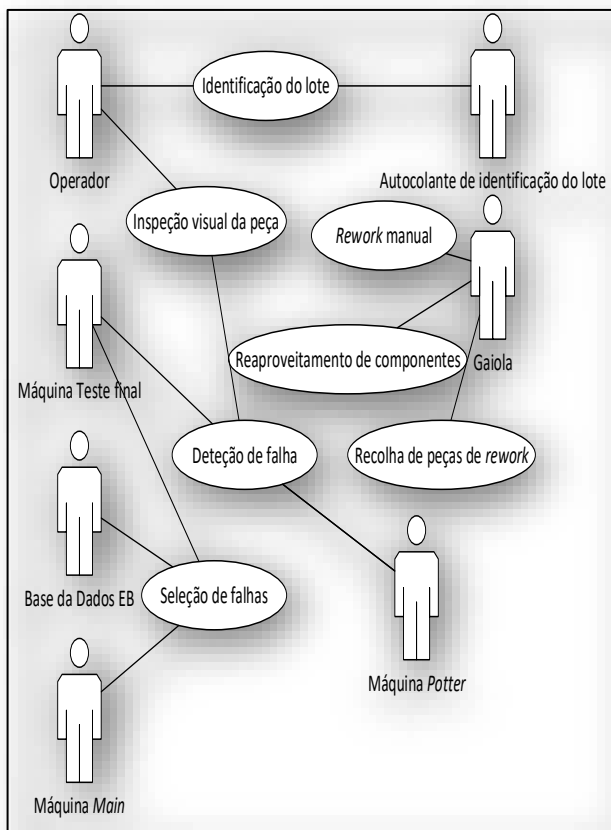


Figura 4.8 Diagrama de uso de retrabalho as-is

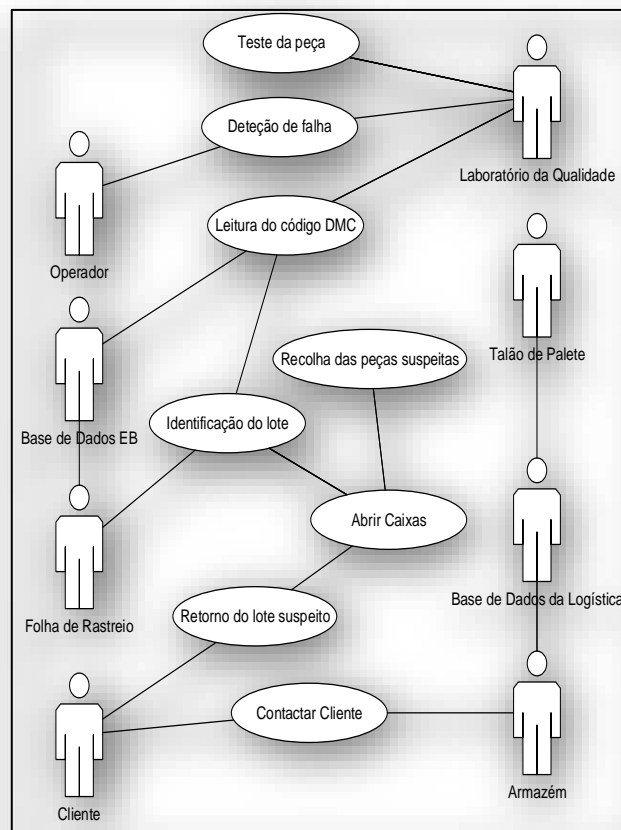


Figura 4.7 Diagrama de uso recall as-is

### 4.3.3. Diagrama de Classes

A modelação da base de dados em termos de rastreio está representada pelo diagrama de classes na Figura 4.9. O diagrama mostra que vários elementos estão ligados entre si o que permite o registo de vários parâmetros consoante o tipo de processo que a peça está a sofrer numa base de dados. Isto é, a peça vai ser monitorizada através do código 2D permitindo, ao longo do processo, registar a hora e data de criação bem como os testes e o seu resultado. Dados como o *partnumber* e *masternumber* são igualmente registados numa base de dados. No entanto, esta é a base dos dados referentes à logística, não sendo, portanto, relacionada com a base de dados da bobina de ignição.

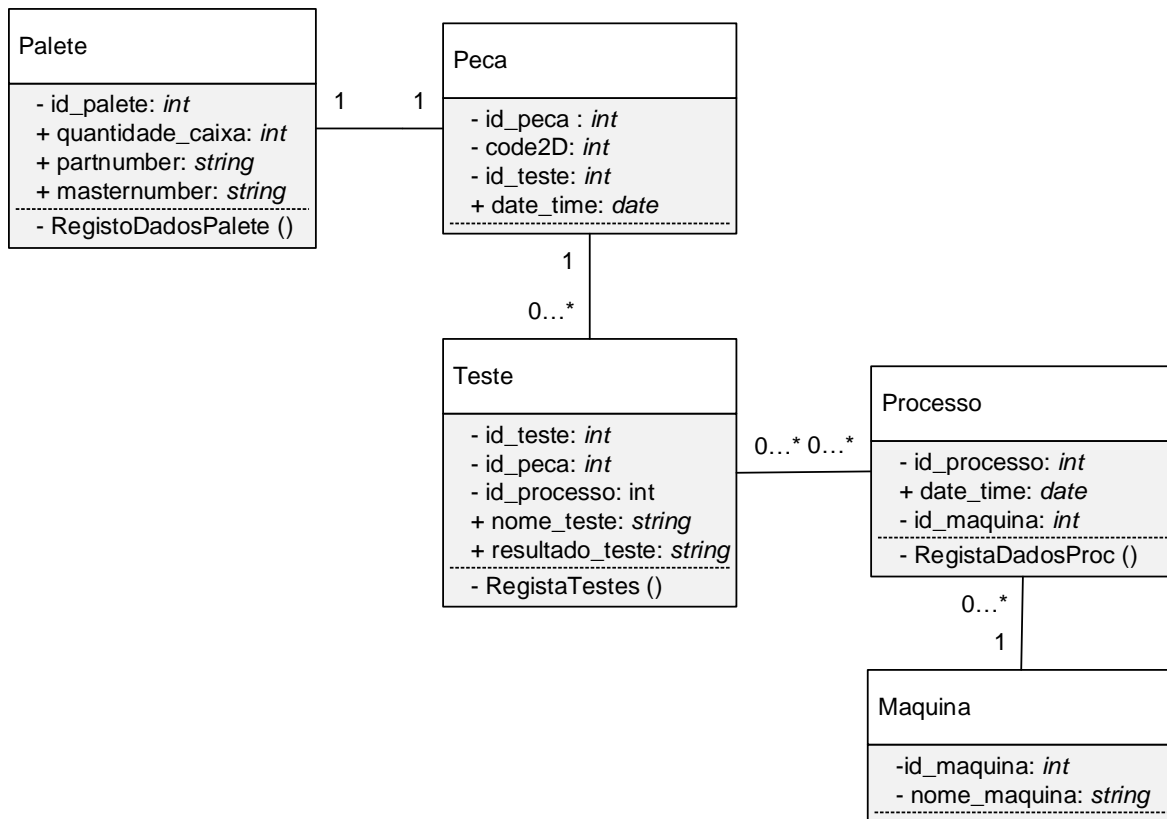


Figura 4.9 Diagrama de classes as-is



## 5. Proposta de melhoria

A proposta de melhoria para este caso de estudo passa por tomar partido das estruturas tecnológicas que a empresa possui e introduzir um sistema automatizado que evita que o operador tenha atividades administrativas aquando da produção, diminuindo desta forma a probabilidade do erro humano, o tempo desperdiçado nessas atividades, bem como na procura das peças em caso de *recall*.

Após a pesquisa efetuada e considerando que este é um produto que eventualmente será substituído por outro mais recente, e, portanto, a quantidade produzida irá diminuir, a melhor solução será implementar um sistema de rastreio que funciona através do código 2D, visto que, esta é uma tecnologia já utilizada pela Delphi noutras funções. Apesar da tecnologia *RFID* ser a mais sofisticada e por isso a ideal, esta apresenta um custo mais elevado e por isso não se justifica tal investimento.

Após todos os conhecimentos adquiridos da pesquisa bibliográfica foram tomadas as ações de melhoria da AMFE do processo que se encontram na Tabela 5.1. As ações foram tomadas para os potenciais modos de falha priorizados anteriormente e que estão identificadas com sombreado (A13, A14, A29, A1, A9, A15, A19, A28, A4, A12, A18 e A22). A ocorrência e a deteção foram alvo de revisão consoante as melhorias propostas e calculou-se um novo NPR (desde que sejam melhorias implementadas corretamente), sendo que a gravidade do modo de falha vai sempre manter-se o mesmo.

Tabela 5.1 AMFE do processo de ações de melhoria

Processo Atual					Processo atual				Se as melhorias forem implementadas corretamente			
Processo	Input	PMF	Potencial Modo de Falha	Ações recomendada	G	O	D	NPR	G	O	D	NPR
Máquina main	Folha de rastreio: Número do operador, número do lote, data, hora	A1	Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio	Automatização do processo de preenchimento	6	5	10	300	6	1	10	60
		A2	Operador não preenche a folha		6	3	8	144	6	3	8	144
		A3	A folha perde-se		6	2	8	96	6	2	8	96
		A4	A folha danifica-se	Substituição do registo manual por registo automático	6	4	8	192	6	1	8	48
	Leitura automática: ID da pc, data e hora de processamento + parâmetros do processamento	A5	Equipamento não lê a peça		6	2	6	72	6	2	6	72
		A6	A peça não tem ID		6	2	10	120	6	2	10	12
		A7	ID não é legível		6	2	10	120	6	2	10	120
		A8	Pode ler mas não regista na base de dados		6	2	6	72	6	2	6	72
Potter	Número do operador, número do lote, data, hora	A9	Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio	Automatização do processo de preenchimento	6	5	10	300	6	1	10	60
		A10	Operador não preenche a folha		6	3	8	144	6	3	8	144
		A11	A folha perde-se		6	2	8	96	6	2	8	96

Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

Processo Atual					Processo atual				Se as melhorias forem implementadas corretamente			
Processo	Input	PMF	Potencial Modo de Falha	Ações recomendada	G	O	D	NPR	G	O	D	NPR
		A12	A folha danifica-se	Substituição do registo manual por registo automático	6	4	8	192	6	1	8	48
	Tabuleiros com as peças mais a falha de rastreio em cima	A13	Erro na correspondência das peças físicas com a folha de rastreio	Registo dos lotes na base de dados	8	5	10	400	8	1	10	80
Teste final	Tabuleiros com as peças mais a falha de rastreio em cima	A14	Erro na correspondência das peças físicas com a folha de rastreio	Registo dos lotes na base de dados	8	5	10	400	8	2	10	160
	Folha de rastreio: Número do operador, número do lote, data, hora da entrada e saída da <i>potter</i>	A15	Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio	Automatização do processo de preenchimento	6	5	10	300	6	2	10	120
		A16	Operador não preenche a folha		6	3	8	144	6	3	8	144
		A17	A folha perde-se		6	2		96	6	2	8	96
		A18	A folha danifica-se	Substituição do registo manual por registo automático	6	5	10	192	6	1	8	48
	Talão de palete	A19	Operador engana-se no preenchimento do talão de palhete	Automatização do processo de preenchimento	6	3	8	300	6	1	10	60
		A20	Operador não preenche a folha		6		8	144	6	3	8	144
		A21	A folha perde-se		6	2	8	96	6	2	8	96
		A22	A folha danifica-se	Substituição do registo manual por registo automático	6	4	8	192	6	1	8	48
	Etiqueta da palete	A23	Etiqueta da palete não é correta		8	4	3	96	8	4	3	96
		A24	Equipamento não lê a peça		6	2	6	72	6	2	6	72
		A25	A peça não tem ID		6	2	10	120	6	2	10	120
		A26	ID não é legível		6	2	10	120	6	2	10	120
		A27	Pode ler mas não regista na BD		6	2	6	72	6	2	6	72
		A28	Para peças rejeitadas (NTF) não tem informação do lote	Registo dos lotes na base de dados	6	5	8	240	6	1	8	48
		A29	Para peças rejeitadas (NTF) informação do lote errada	Registo dos lotes na base de dados	8	5	10	400	8	1	10	80
		A30	Paleta sem etiqueta		4	5	3	60	4	5	3	60

Na prática, a proposta de melhoria consiste em 3 ações:

1. Reformulação da base de dados que permita a correspondência entre o número da peça e o do lote, bem como da paleta e da localização de cada lote ao longo de todo o processo;
2. A colocação de um sistema informático na *Potter*, até agora inexistente, que vai permitir o registo automático dos dados das peças nesse processo;
3. Colocação de um dispositivo que devolva uma etiqueta responsável por substituir a folha de papel convencional e que contenha toda a informação que acompanha a peça, bem como a ligação com o número de lote. Para este caso é ainda aconselhável a colocação de um compartimento no carrinho (lote) para colocar a etiqueta, diminuindo a perda ou danificação da



mesma ao longo do processo. Em todas as máquinas teria que existir um leitor de código que permita a leitura das etiquetas.

O diagrama de *Pareto* futuro está apresentado na Figura 5.1, auxiliado pela Tabela 5.2, apresentando uma clara diminuição do NPR a nível geral dos modos de falha. Comparando os dois diagramas de *Pareto* e calculando as médias percentuais conclui-se, que se as medidas forem tomadas corretamente é possível reduzir os riscos de falha em cerca de 48%, como apresentado na equação (2).

$$1 - \frac{2744}{5292} \times 100\% = 48,15\% \quad (2)$$

Tabela 5.2 Priorização dos Potenciais Modos de Falha com as melhorias aplicadas

PMF	NPR	% NPR	%NPR Acum
A14	160	5,83	5,83
A2	144	5,25	11,08
A10	144	5,25	16,33
A16	144	5,25	21,57
A20	144	5,25	26,82
A6	120	4,37	31,20
A7	120	4,37	35,57
A15	120	4,37	39,94
A25	120	4,37	44,31
A26	120	4,37	48,69
A3	96	3,50	52,19
A11	96	3,50	55,69
A17	96	3,50	59,18
A21	96	3,50	62,68
A23	96	3,50	66,18
A13	80	2,92	69,10
A29	80	2,92	72,01
A5	72	2,62	74,64
A8	72	2,62	77,26
A24	72	2,62	79,88
A27	60	2,62	82,51
A1	60	2,19	84,69
A9	60	2,19	86,88
A19	60	2,19	89,07
A30	60	2,19	91,25
A4	48	1,75	93,00
A12	48	1,75	94,75
A18	48	1,75	96,50
A22	48	1,75	98,25
A28	48	1,75	100
Total	2256		

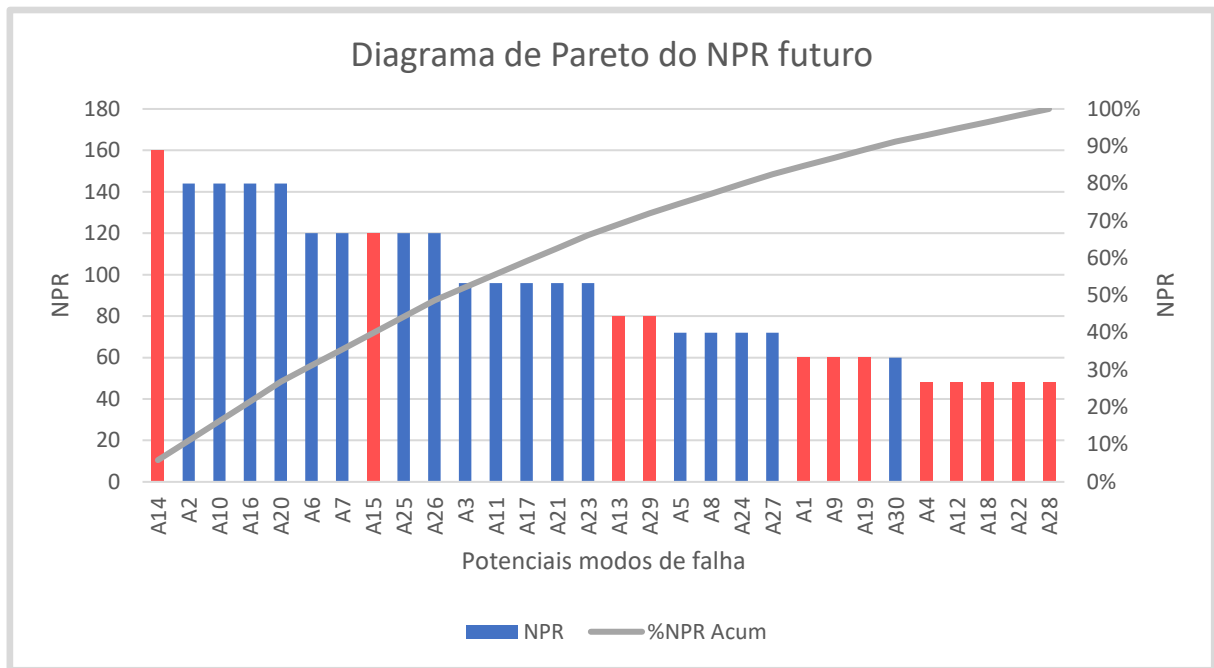


Figura 5.1 Diagrama de *Pareto* do NPR futuro

Dos modos de falha identificados como os principais a atuar, o A14 e o A15, “Erro na correspondência das peças físicas com a folha de rastreio” e “Operador engana-se no preenchimento da folha de rastreio”, respetivamente, no contexto do teste final, continuam a ter um NPR elevado relativamente aos restantes modos de falha. Isto acontece porque a gravidade dos mesmos é elevada, e, sendo este um parâmetro que não se altera apesar das melhorias propostas, o NPR mantém-se alto. Fazendo o mesmo paralelismo das médias percentuais iniciais ( $400+300=700$ ) e finais ( $160+120=280$ ) para A14 e A15, diminui-se em cerca de 60% o risco de falha.

$$1 - \frac{280}{700} \times 100\% = 60,00\% \quad (3)$$

Para o processo contínuo de produção a solução que melhor se ajusta, tendo em conta os pensamentos *lean*, propõem-se a utilização de etiquetas que permitam eliminar o preenchimento de folhas de rastreio. Sabendo que se trata de uma tipo indústria que produz apenas um tipo de componente e a procura é constante, o sistema de etiquetas, equacionando-se a um *kanban*, é uma solução adequada e válida (Ciganek & Kerdpitak, Chayanun Jarupathirun, Suprasith Chotiwankeawmanee, 2009).

As 3 mudanças anteriormente referidas alteram a dinâmica da recolha de informação, passando esta a ser mais automática e digital. As seguintes figuras, (ver Figura 5.2, Figura 5.3 e Figura 5.4) representam as mudanças a nível monitorização e recolha de dados nos vários processos efetuados da linha de produção.

## Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

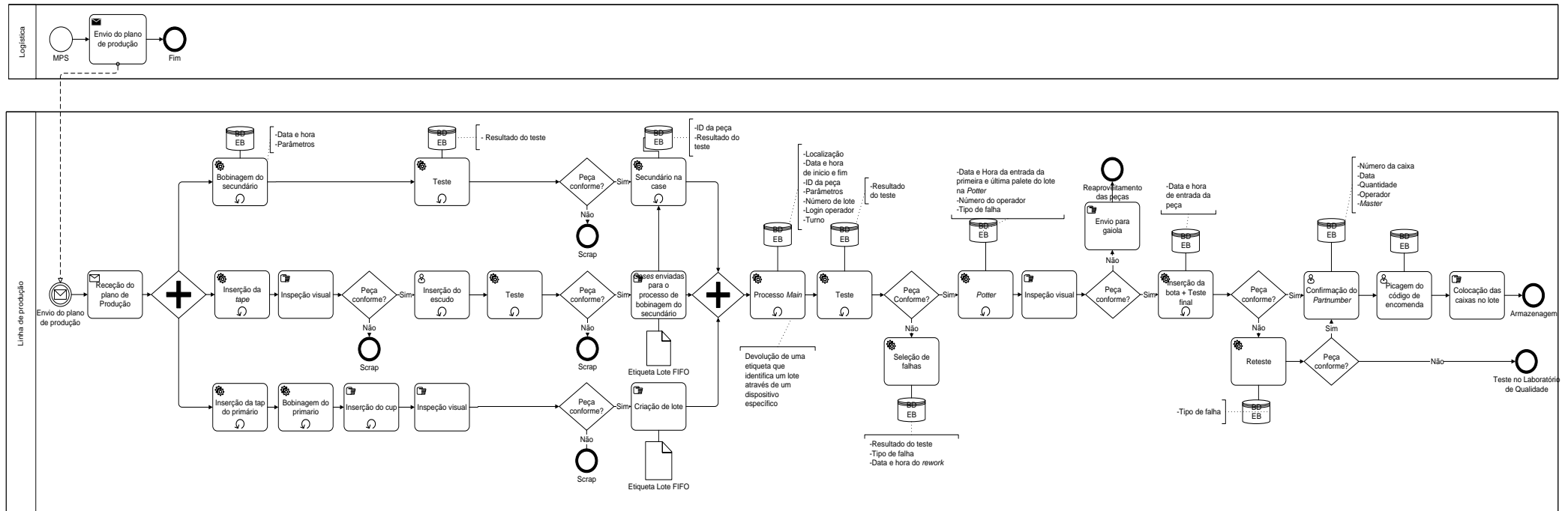


Figura 5.2 BPMN Geral *to-be*

(Disponível em Anexo, página 3)



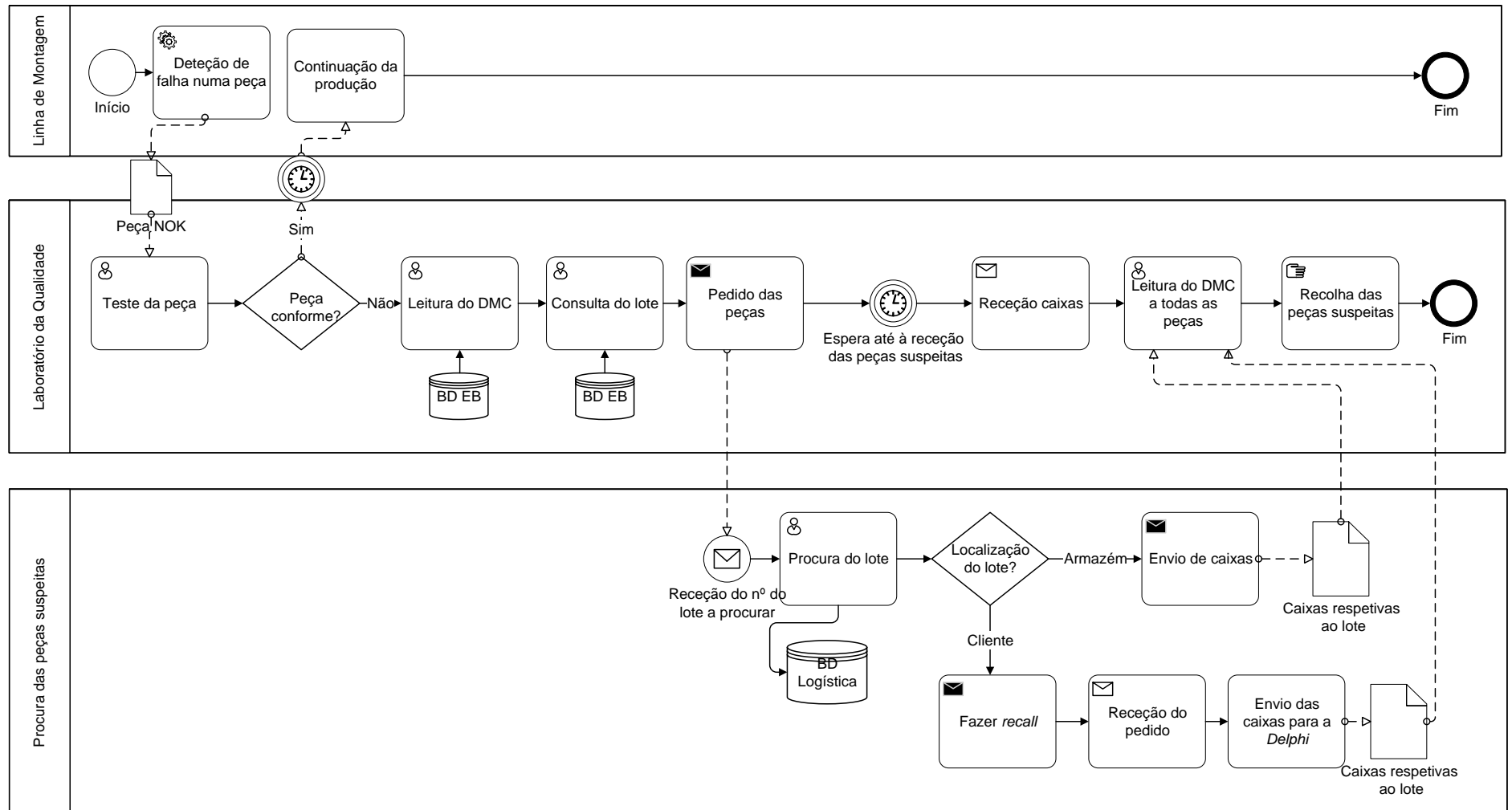


Figura 5.4 BPMN recall to-be

A interação dos diferentes utilizadores também modificar-se-á para o processo geral, *recall* e retrabalho, onde alguns utilizadores deixam de fazer parte e outros passam a ser um utilizador essencial, como a etiqueta por exemplo. As figuras, 5.5, 5.6 e 5.7, apresentam os diagramas de uso *to-be*, isto é, para o cenário futuro.

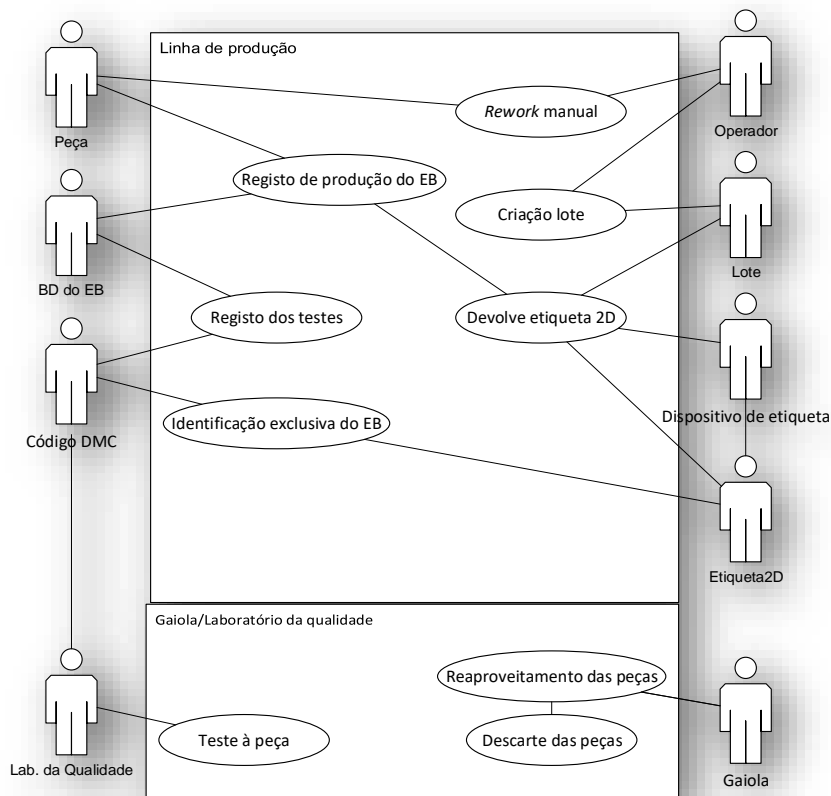


Figura 5.5 Diagrama de uso geral *to-be*

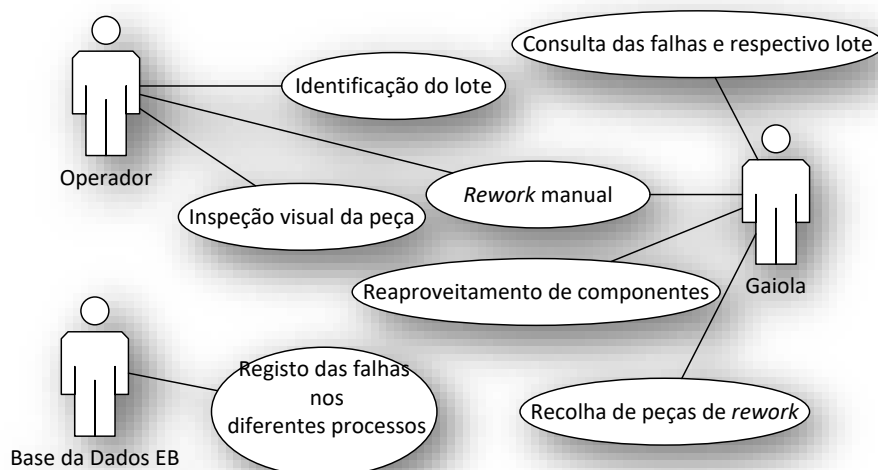


Figura 5.6 Diagrama de uso *retrabalho to-be*

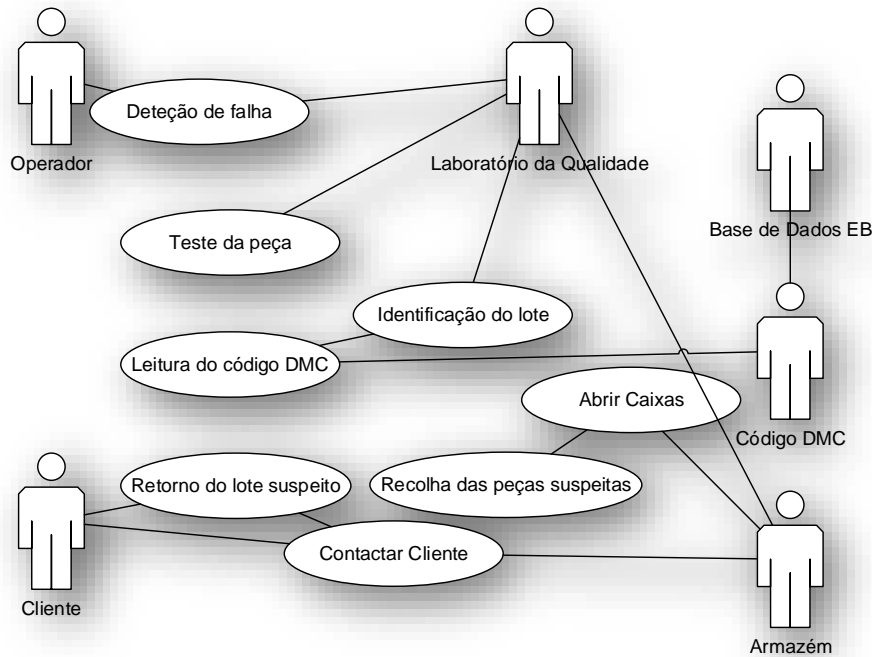


Figura 5.7 Diagrama de uso *recall-to-be*

A maior diferença ocorre na remodelação da base de dados que tem como principal objetivo integrar mais dados, nomeadamente a relação entre o lote e a peça que vai tornar a monitorização da bobina de ignição uma tarefa mais fácil e menos demorada do que tem vindo a ser.

A remodelação foi feita através do diagrama de classes da Figura 5.8 em que vai se integrar mais classes que se relacionam entre si. As classes “Localizacao”, “Talao2D” “Lote”, e “Operador” são as novas classes inseridas na base de dados que são essenciais para a correlação pretendida. Classes como, “Lote\_palette”, “Operador\_lote” e “Peca\_lote” vão corresponder a novas colunas na base de dados que permitem obter uma base de dados completa. Isto é, na base de dados, contrariamente ao que acontece de momento, através da modelação proposta, existe correlação entre o lote, a palette, a peça e o operador:

- A classe “Operador” tem como principal função adicionar a funcionalidade de o operador fazer o *login* no sistema a implementar, continuando assim com a mesma informação do operador que era necessária interiormente como o número do operador e o seu turno correspondente. A essa funcionalidade vão estão outros atributos necessários, como uma *password*, data de criação da conta do operador e o estado do operador, que pode ser ativo ou inativo, dependendo do seu estado;

- A “Localização” tem como função permitir, quem consultar a etiqueta tenha conhecimento de onde o lote está localizado. As localizações possíveis podem ser, por exemplo, máquina *main* ou armazém;
- O “Talao2D” corresponde à etiqueta com um código 2D que permite a um colaborador ler e ter noção quais são as peças que aquele lote/carrinho contém e quais os processos que já passou;
- A classe “lote” é a que vai permitir a relação entre a peça, palete e o número do lote que é criado a uma determinada data e hora que são essenciais para o rastreio da bobina de ignição.

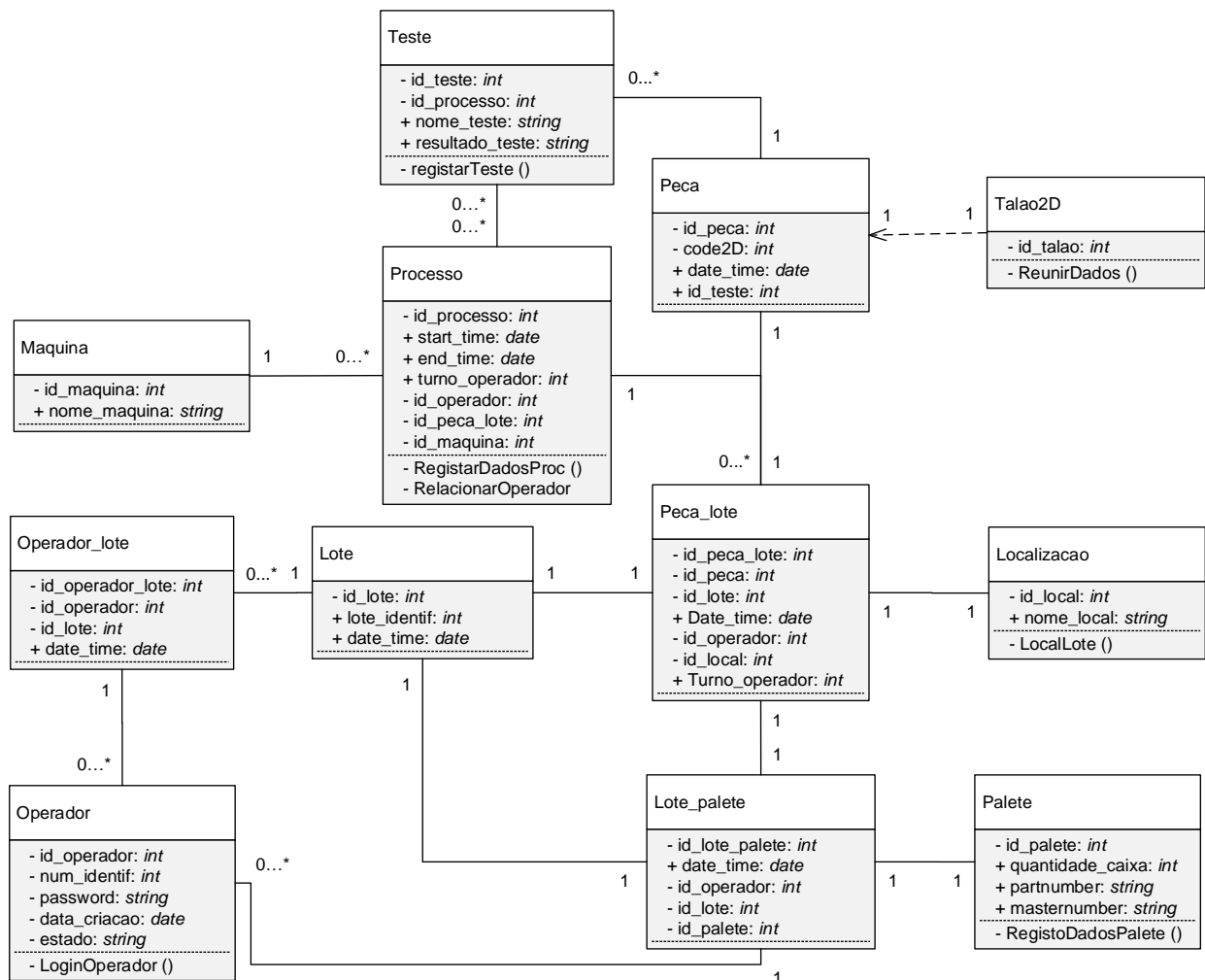


Figura 5.8 Diagrama de classes *to-be*

A adoção destas medidas permite diminuir o número de passos tomados quando é necessário consultar ou recolher um determinado lote. A Figura 5.9 apresenta todos os passos que são necessários no sistema atual, em termos de atividades administrativas por parte dos operadores na linha de produção, bem como na área do



laboratório de qualidade. Em contrapartida, a Figura 5.10, apresenta os mesmos passos no contexto dos melhoramentos propostos.

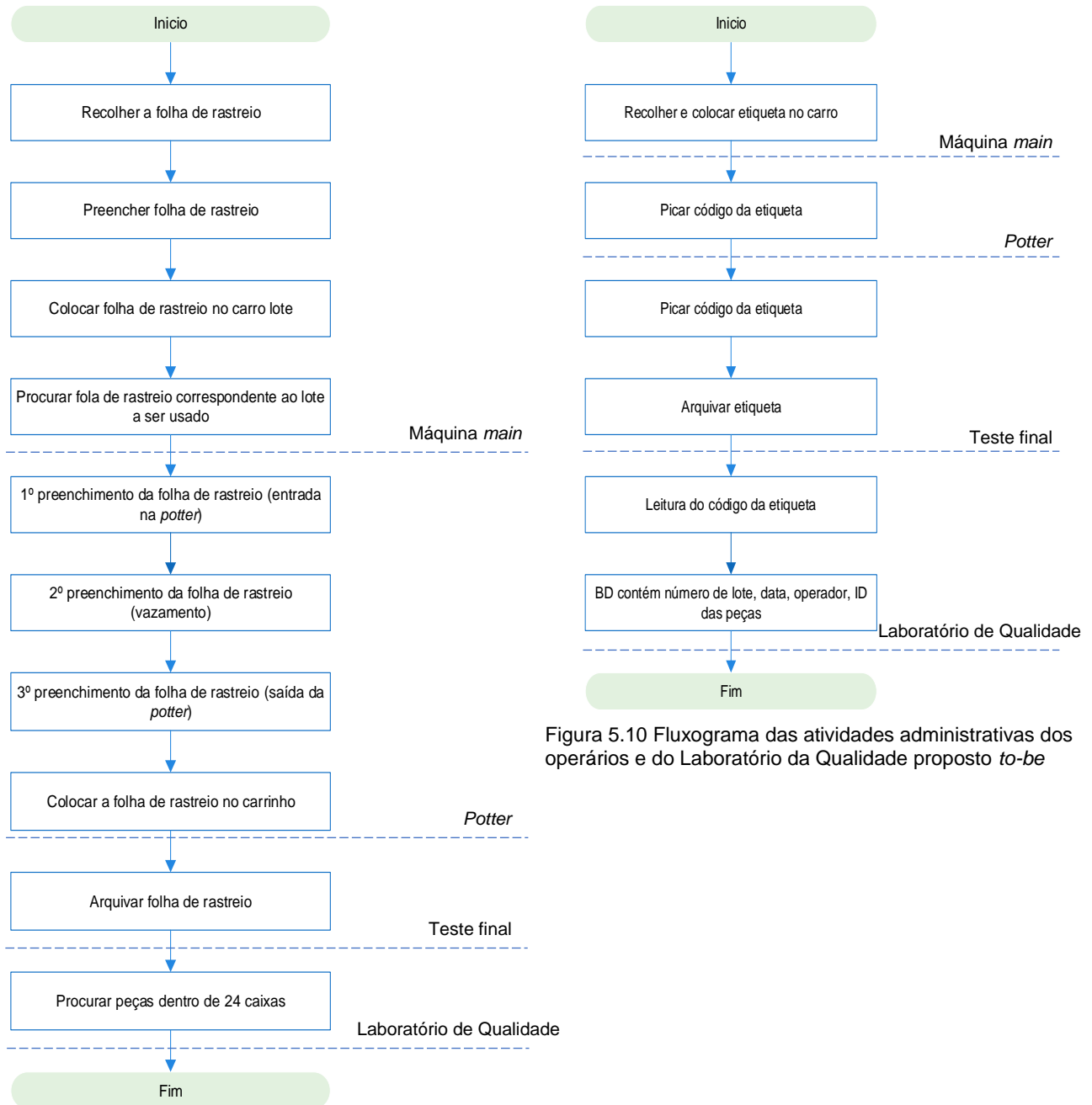


Figura 5.9 Fluxograma das atividades administrativas dos operários e do Laboratório da Qualidade as-is

Figura 5.10 Fluxograma das atividades administrativas dos operários e do Laboratório da Qualidade proposto to-be

Sabendo que as atividades referentes à produção são atividades que acrescentam valor, como por exemplo os processos essenciais para o fabrico do produto, bem como algumas atividades que não acrescentam valor, no entanto, são fundamentais para o processo de fabrico, as restantes são classificadas como muda, e por tanto, um desperdício. Dos 7 tipos de muda que existem, para este caso foi

identificado um que afeta o processo contínuo. O maior desperdício que ocorre devido a uma rastreabilidade deficiente são as movimentações desnecessárias que ocorrem no processo de *recall*, nomeadamente na procura dos lotes necessários a ser testados e nas movimentações e processos envolventes no preenchimento das folhas de rastreio, bem como, no tempo que se despende no preenchimento das mesmas.

O facto de se colocar um leitor em cada máquina permite que se faça a leitura, e consequentemente a inserção dos dados que a mesma contem na BD, registando desta forma, a hora, a data, o lote e o operador que executa a operação (ver Figura 5.11). Após a modelação da base de dados, criada para armazenar os dados suficientes, deve ser criada uma etiqueta com leitura 2D que vai ser imprimida através de uma impressora, localizada estrategicamente na máquina *main*.

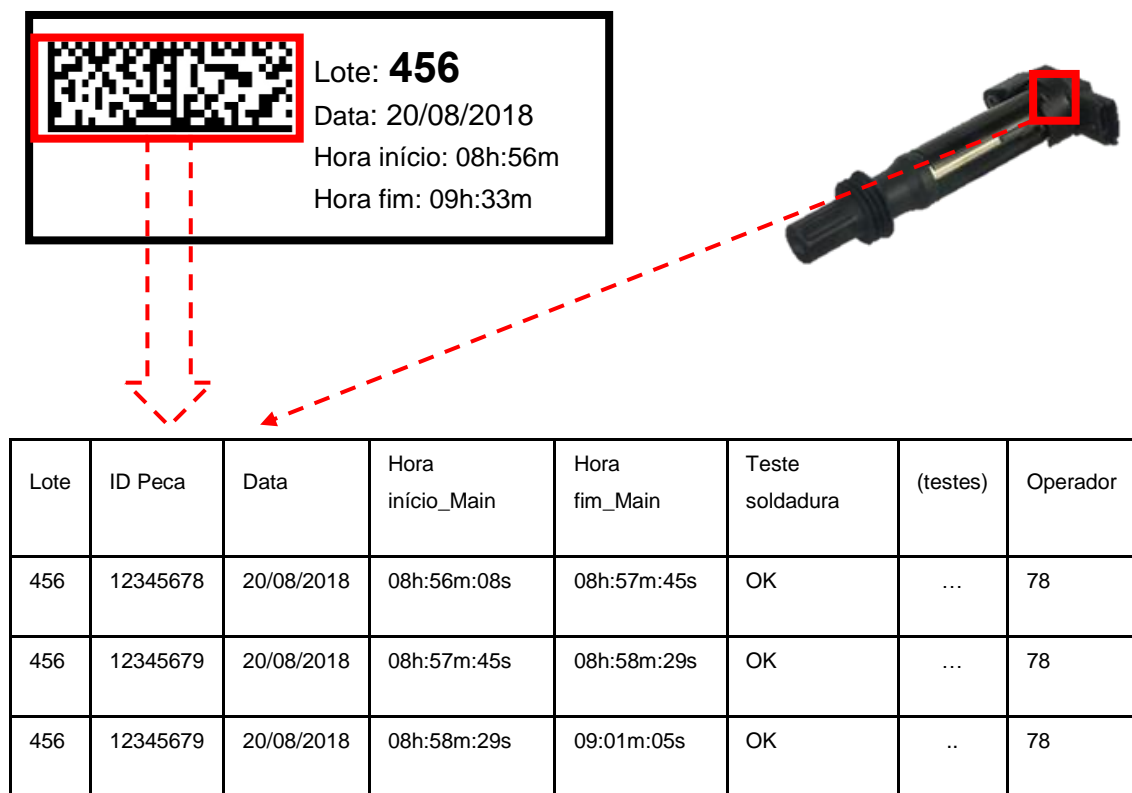


Figura 5.11 Representação da Etiqueta com Código 2D e a base de dados após a leitura do código

Esta mesma etiqueta acompanha o carrinho, que representa um lote, ao longo do fabrico até chegar à máquina final, teste final. Em analogia à Folha de Rastreio, esta etiqueta vai ser arquivada, para que em situações de *recall*, seja suficiente a sua leitura através de um leitor 2D, sem ter que ser necessário analisar e ler folha a folha como é feito até ao momento. Desta forma é possível acelerar o processo de rastreio,

eliminando o fator humano existente. Outra simplificação conseguida é o facto de operador não ter mais que preencher nenhuma folha, sendo que a sua função no posto de trabalho torna-se mais simples, tendo que se preocupar apenas na atividade de fabrico e na colocação e leitura da etiqueta. A Figura 5.12 representa o *layout* simplificado de como funciona o processo de rastreio atual, e a Figura 5.13, representa o *layout* futuro, onde é possível observar que a intervenção humana diminui.

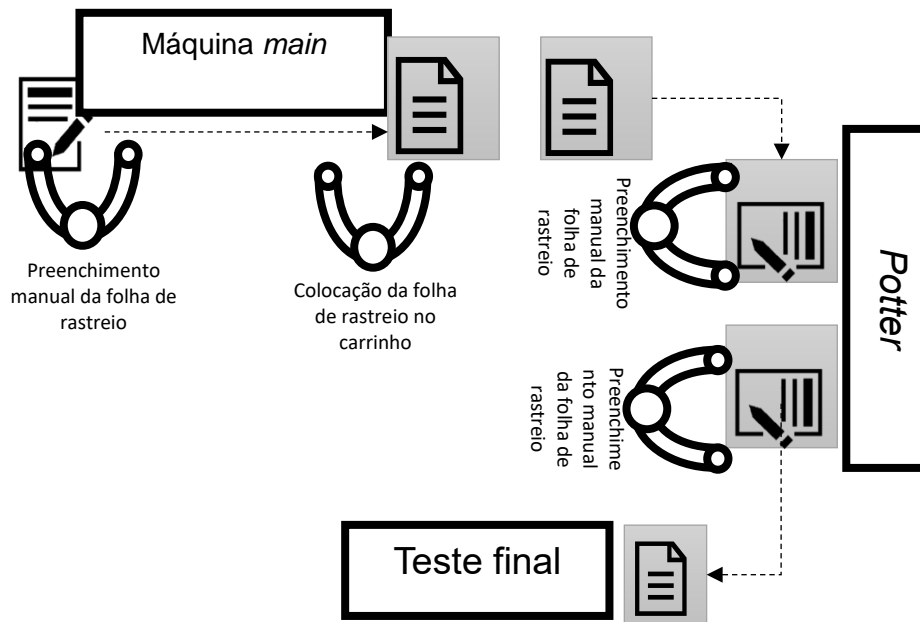


Figura 5.12 *Layout* simplificado do processo de rastreio as-is

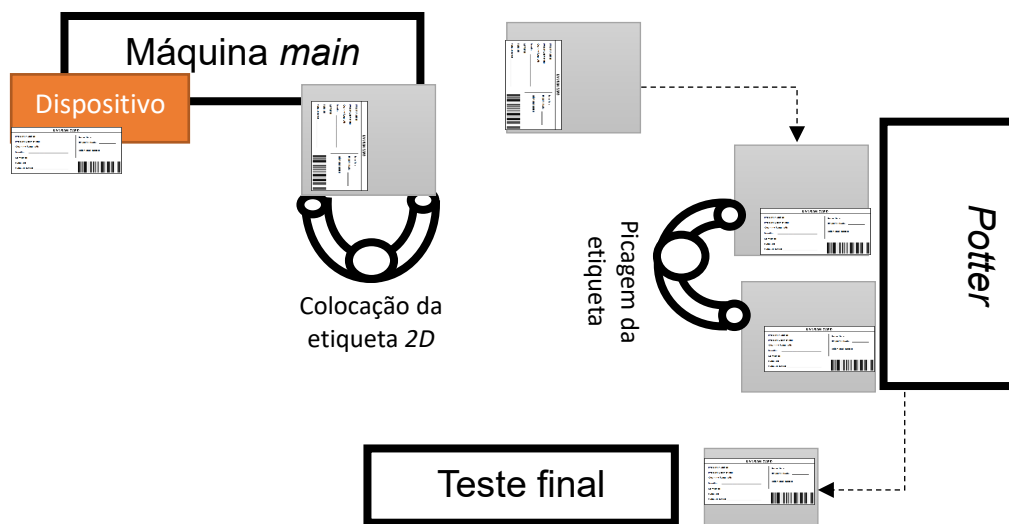


Figura 5.13 *Layout* simplificado do processo de rastreio após implementação do código 2D (to-be)



## Conclusões e recomendações para trabalhos futuros

Quando foi proposto o tema da dissertação, tinha-se como dado adquirido que o sistema de rastreio atual não era o mais eficiente, e por isso, o primeiro passo passou por uma extensa pesquisa bibliográfica que teve como principal objetivo adquirir o máximo de conhecimentos sobre o que é o rastreio e quais eram as práticas utilizadas e possíveis atualmente.

O principal desafio no desenvolvimento desta dissertação foi na esquematização e modelação do processo, que, apesar de à primeira vista ser simples, contempla vários pormenores que se tem de ter em conta. A decomposição do processo, passo a passo, foi uma tarefa trabalhosa que teve de passar por várias validações até ir ao encontro da realidade.

A pesquisa bibliográfica, fundamental para esta dissertação, revelou que o rastreio tem vindo a ser mais automatizado, pois questões administrativas e trabalho manual eram um inconveniente para processos de fabrico contínuo, como é verificado neste caso de estudo. Para além disso, a automatização permite que o sistema funcione mais rapidamente, aumentando o nível de produtividade da empresa e evitando problemas num possível *recall* de peças.

Recordando os principais objetivos propostos nesta dissertação, analisar e organizar os dados necessários para o bom funcionamento do sistema de rastreio dos objetos a serem monitorizados, foi o primeiro objetivo estabelecido que foi atingindo através da aplicação de ferramentas da qualidade e da modelação do sistema de rastreio. A AMFE foi uma ferramenta fulcral na recolha e análise dos dados do caso de estudo. Já a modelação do sistema de rastreio, feita em 3 partes distintas que permitiu a visibilidade do sistema de rastreio. A conclusão após a aplicação da AMFE foi de que os pontos fracos seriam a utilização da folha de rastreio, que estava condicionada a vários fatores e à falta de automatização do processo o que levava a que a monitorização das peças fosse insuficiente.

O BPMN geral, de retrabalho e de *recall* deu visibilidade sobre o fluxo de materiais e de dados ao longo da linha de produção, permitindo identificar quais são os *pain points* deste sistema. Para o auxílio dos diagramas BPMN, os diagramas de caso de uso permitiram representar quais eram os principais utilizadores do sistema, bem como as suas interações. Como o sistema de rastreio está diretamente relacionado com os dados que são guardados no sistema, tanto em formato digital, como em formato físico, o diagrama de classes foi utilizado para a modelação da base de dados atual.

O segundo objetivo que passava por – implementar um sistema de rastreio automatizado que substitua o convencional sistema –, foi atingido após a revisão bibliográfica onde se identificaram quais os 3 meios mais utilizados em relação à rastreabilidade, sendo estes, o código 1D, o código 2D e o mais recente, código RFID. A escolha do 2D para este caso foi clara, na medida em que, era um sistema suficiente para a fabricação das bobinas de ignição. Este produto será substituído por outro mais recente, o que vai fazer com que a sua produção diminua. O código RFID é um sistema sofisticado, no entanto, dispendioso, o que não justifica a sua implementação. Por outro lado, a empresa opera com o código 2D diariamente, tendo inclusive leitores para o mesmo, sendo esse um fator decisivo para a escolha de uma etiqueta com um código 2D.

O terceiro objetivo – analisar o processamento de *recall* e retrabalho e propor uma melhoria de rastreio das peças que sofrem esses processos – é indiretamente atingido quando se modifica a estrutura do sistema de rastreio. Peças que sofrem retrabalho passam a ser monitorizadas nos 3 postos de trabalho, evitando que estas se “percam” ao longo do fabrico. O melhoramento no processo do *recall* foi o mais significativo na medida em que várias etapas que existem de momento podem ser eliminadas. Tarefas como procurar o lote nos *dossiers* arquivados, estimar a hora dos lotes a serem retirados, procurar as peças nos respetivos lotes, entre outros, são substituídos pela consulta na base de dados das bobinas de ignição através de uma simples leitura do código já existente na peça.

O quarto e último objetivo, foi igualmente atingido, quando se compararam os processos *as-is* e *to-be*, reforçados ainda por dois fluxogramas (ver Figura 5.9 e Figura 5.10) onde se conclui que o número de etapas a efetuar diminui utilizando as vantagens da tecnologia.

As alterações propostas, podem de facto contribuir para uma rastreabilidade mais eficiente na medida em que retira responsabilidades e trabalho dos operadores nas horas de fabrico, bem como nos momentos em que é necessário fazer um *recall* das peças, ou simplesmente procurar certos lotes/caixas ou peças. Esta é uma área de extrema importância pois os consumidores tornam-se cada vez mais exigentes e as normas mais rigorosas. As organizações necessitam de manter o nível de excelência e qualidade em todos os aspetos, inclusive na rastreabilidade, que é fulcral na qualidade dos produtos entregues ao cliente final. Ter a visibilidade dos produtos, não só permite identificar onde os *bottlenecks* podem ocorrer, como ainda, identificar os *pain points* do modo de processamento dos mesmos.

A integração da modelação de sistemas de informação com ferramentas da qualidade como a AMFE e o diagrama em árvore provou ser uma vantagem para este tipo de análise. Tanto a AMFE como o Diagrama em árvore permitem, através de informação qualitativa de um processo quantificá-la, gerando recomendações e oportunidades de melhoria. Quando integrado com a modelação dos sistemas de informação, possibilita, através de uma representação gráfica e respeitando normas específicas, ter uma perspetiva, tanto interna como externa, das operações efetuadas.

A rastreabilidade insere-se na temática dos sistemas de informação, no entanto, esta tem como finalidade produzir e entregar um produto de qualidade, o que faz com que se integre igualmente na temática dos sistemas de gestão da qualidade. Ambas as temáticas vão se interrelacionar entre si pois a modelação serve como base para descrever o sistema ao pormenor, tanto a nível operacional como a nível de trocas de informação e identificar possíveis problemas. A AMFE, com recurso à modelação, identifica e analisa esses problemas, calcula o impacto que tem no sistema e permite propor melhorias ao mesmo. Com base nas melhorias, o sistema é modelado novamente, permitindo obter uma visão geral e ao pormenor de como estas vão influenciar o funcionamento das mesmas.

Para que se mantenha um sistema eficiente a sua análise deve ser constante, isto é, o cenário *to-be*, após implementado, passa a ser o *as-is*, e com isso, a AMFE deveria ser aplicada periodicamente para que a melhoria na rastreabilidade seja constante.

A implementação destas melhorias não chegou a ser executada devido à falta de tempo, e por isso, a sua validação ainda não foi feita. No entanto, sugestões para trabalhos futuros podem advir daí, nomeadamente, um estudo pormenorizado sobre os impactos dos custos para a implementação de um sistema de rastreio automatizado, bem como da comparação entre a adoção do rastreamento pelo 1D, 2D e o RFID.

Apesar de a escolha ter sido feita consoante os recursos que a empresa possui, para outras situações, tal pode não se verificar, isto é, para cada caso a adoção de uma das formas de rastreio tem um impacto diferente nos custos e benefícios que a empresa pode usufruir. Este estudo é fulcral pois pode mudar a forma como as empresas encaram a rastreabilidade. Fazendo um balanço do que se perde a nível monetário com o desperdício de tempo e movimentações, bem como a insatisfação do cliente final, com a aquisição de um equipamento de rastreamento que permite eliminar esses mesmos fatores, a curto, médio e longo prazo podem ser cruciais para uma organização.





## Referências

- Ackoff, R. (1989). De Data to Wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16, 3–9.
- Adetiloye, K. O. (2012). *Design of RFID-enabled aircraft reverse logistics network simulations*. Dissertação de Mestrado. Concordia Institute Of Information Systems Engineering.
- Agarwal, V. (2001). *Assessing the benefits of auto-ID technology in the consumer goods industry*. Cambridge, University of Cambridge. Cambridge.
- Aghajani, M., Keramati, A., & Javadi, B. (2012). Determination of number of kanban in a cellular manufacturing system with considering rework process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 63(9–12), 1177–1189.
- Albright, B. (2018). Parts tracing drives automotive supply chain: government regulations and rising recall costs force suppliers to get a better handle on parts data. Consultado a Junho 17, 2018, de <https://www.highbeam.com/doc/1G1-137540532.html>
- Alkaabi, J. A. (1994). *Improved materials management using automatic identification techniques*. Dissertação de Mestrado. Loughborough University.
- Alves, V. C. F. (2015). *Impacto do retrabalho na produção de tanques plásticos de combustível fornecidos a montadoras de automóveis*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Amalfitano, D., De Simone, V., Fasolino, A. R., & Scala, S. (2017). Improving traceability management through tool integration: an experience in the automotive domain. In *International Conference on Software and System Process* (pp. 5–14). Paris, France.
- Amde, A. M., Saad, T., Majekodunmi, F., & Villatoro, J. (2014). *Utilizing Automatic Identification Tracking Systems to Compile Operational Field and Structure Data*. Hanover, Maryland.
- APCER GROUP. (2015). ISO 9001 Guia de Utilizador. Consultado a Março 6, 2018, de [https://www.apcergroup.com/portugal/images/site/graphics/guias/APCER\\_GUIA\\_ISO9001\\_2015.pdf](https://www.apcergroup.com/portugal/images/site/graphics/guias/APCER_GUIA_ISO9001_2015.pdf)
- Ascensão, P. (2017). Automóvel : um sector estratégico para a competitividade nacional. Consultado a Janeiro 11, 2018, de [http://www.afia.pt/index.php?option=com\\_content&task=view&id=4830&Itemid=1&lang=pt\\_PT](http://www.afia.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=4830&Itemid=1&lang=pt_PT)
- Banduka, N., Veža, I., & Bilić, B. (2016). An integrated lean approach to Process Failure Mode and Effect Analysis (PFMEA): A case study de automotive industry. *Advances in Production Engineering & Management*, 11(4), 355–365.
- Bergman, B., & Klefsjö, B. (2007). *Kvalitet från behov till användning* (4th ed.). Lund: Studentlitteratur.
- Bertsche, B. (2008). *Reliability in Automotive and Mechanical Engineering* (1ª). Berlim: Springer.
- Beru. (2014). Tudo sobre bobinas de ignição. Consultado a Março 16, 2018, de [http://beru.federalmogul.com/sites/default/files/ti07\\_ignition\\_coils\\_pt\\_2013.pdf](http://beru.federalmogul.com/sites/default/files/ti07_ignition_coils_pt_2013.pdf)
- Brintrup, A., Ranasinghe, D., & McFarlane, D. (2009). RFID Opportunity Analysis for

- Leaner Manufacturing. *International Journal of Production Research*, 48(09).
- Chryssochoidis, G., Karagiannaki, A., Pramataris, K., & Kehagia, O. (2009). A cost-benefit evaluation framework of an electronic-based traceability system. *British Food Journal*, 111(6), 565–582.
- Ciganek, A., & Kerdpitak, Chayanun Jarupathirun, Suprasith Chotiwankeawmanee, T. (2009). Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban : A Supply Chain Efficiencies Through E-Kanban : A Case Study. In *International Conference on IT to Celebrate S. Charmonman's 72nd Birthday* (Vol. 17). Thailand.
- Clarke, C. (2005). *Automotive Production System and Standardisation: De Ford to The Car of Mercedes-Benz* (8ª). Heilbronn: Physica-Verlag Heidelberg.
- Cook, S. (2012). Looking back at UML. *Software & Systems Modeling*, 11(4), 471–480.
- Cooray, P., & Rupasinghe, T. (2015). A Real Time Production Tracking and a Decision Support System (PTDSS): A Case Study de an Apparel Company. In *12th International Conference on Business Management* (pp. 1–13). Colombo, Sri Lanka.
- Costa, F., Carvalho, M. do S., Fernandes, J. M., Alves, A. C., & Silva, P. (2017). Improving visibility using RFID -the case of a company in the automotive sector. *Procedia Manufacturing*, 13, 1261–1268.
- Cucu, T. C., Varzaru, G., Turcu, C., Codreanu, N. D., Plotog, I., & Fuica, R. (2008). 1D and 2D solutions for traceability in an electronic manufacturing services company. In *31st International Spring Seminar on Electronics Technology: Reliability and Life-time Prediction* (pp. 585–588). Budapest, Hungary.
- Dudek-Burlikowska, M. (2011). Application of FMEA method in enterprise focused on quality. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 45(1), 89–102.
- Eshkenazi, A. (2016). Recalls: não são o que costumavam ser. Consultado a Março 9, 2018, de <http://www.apics.org/sites/apics-blog/think-supply-chain-landing-page/apics-supply-chain-management-now---portuguese/2016/06/10/recalls-não-são-o-que-costumavam-ser>
- Fakhrouddinov, K. (2011). UML Use Case Diagrams. Consultado a Maio 23, 2018, de <https://www.uml-diagrams.org/use-case-diagrams.html>
- Fleischmann, M. (2000). *Quantitative Models for Reverse Logistics*. Dissertação de Mestrado. Universidade Rotterdam.
- Genon, N., Heymans, P., & Amyot, D. (2010). Analysing the cognitive effectiveness of the BPMN 2.0 visual notation. In *Proceedings of SLE 2010* (Vol. 6563, pp. 377–396). Eindhoven, The Netherlands.
- Gil, A. C. (1999). *Métodos e técnicas de pesquisa social* (6ª). São Paulo: Atlas.
- GS1. (2009). GS1 DataMatrix. Consultado a Abril 4, 2018, de <https://www.gs1br.org/codigos-e-padroes/codigo-de-barras/MateriaisTecnicos/DataMatrix jun14.pdf>
- GS1. (2018). O que é “Rastreabilidade”? Consultado a Março 8, 2018, de <https://www.gs1br.org/faq/o-que-e-rastreabilidade>
- Hefer, P. D. W. (2009). *Implementing Lean principles and defining the requirements for a bar coding system at British Aerospace Land Systems SA*. Pretória, África do Sul. Consultado de

[http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/13427/Hefer\\_Implementing\(2009\).pdf?sequence=1](http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/13427/Hefer_Implementing(2009).pdf?sequence=1)

- Howorth, A. (1997). On the right track it is easy to go with the flow. *Logistics Focus*, 16–17.
- ISO. (2006). Information technology - Automatic identification and data capture techniques - Data Matrix bar code symbology specification. Consultado a Abril 4, 2018, de <https://www.iso.org/standard/44230.html>
- Jansn-Vullers, M.H., van Dorp, C.A., Beulens, A. J. . (2003). Managing Traceability Information in Manufacture. *International Journal of Information Management*, 23(5), 395–413.
- Jumbad, V. R., Telang; Samir, Nemade; Anant W., & Chel, A. L. (2018). Implementation and Interlinking of PFD , PFMEA and Control Plan in Small Scale Industry : A Case Study. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 5(3), 1092–1098.
- Júnior, N. (2012). *Sistema de informação aplicado à agricultura*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.
- Kavilanz, P. B. (2009). Mattel fined \$2.3 million over lead in toys. Consultado a Março 15, 2018, de <http://money.cnn.com/2009/06/05/news/companies/cpsc/>
- Korenko, M., Krocko, V., & Kaplík, P. (2012). Use of FMEA Method in Manufacturing Organization. *Journal of Manufacturing and Industrial Engineering*, 11(2), 48–50.
- Kritzinger, D. (2017). Failure Modes and Effects Analysis. *Aircraft System Safety*, (December 2007), 101–132. Consultado de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081008898000052>
- Kvarnström, B., & Vanhatalo, E. (2009). Using RFID to improve traceability in process industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 21(1), 139–154.
- Lakatos, Eva Maria; Marconi, M., & Andrade, D. (1991). *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Atlas.
- Laudon, K. C., & Laudon, J. P. (2011). *Management information systems: managing the digital firm*. *Revista de Administração Contemporânea* (12ª, Vol. 7). New Jersey: Pearson Education.
- Lianzhi, L., & Fansen, K. (2010). A Research on Quality Traceability of Transmission Assembly Process Based on RFID Technology. In *3rd International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* (pp. 343–346). Kunming, China. Consultado de <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5694586>
- López-Campos, M. A., Crespo Márquez, A., & Gómez Fernández, J. F. (2013). Modelling using UML and BPMN the integration of open reliability, maintenance and condition monitoring management systems: An application in an electric transformer system. *Computers in Industry*, 64(5), 524–542.
- López-Campos, M., Cannella, S., & Bruccoleri, M. (2014). E-maintenance platform: A business modelling approach. *Dyna*, 183, 31–39.
- Lucas, J., Bulbul, T., & Thabet, W. (2013). An object-oriented model to support healthcare facility information management. *Automation in Construction*, 31, 281–291.
- Lucidchart Software Inc. (2006). What is a Process Flow Diagram. Consultado a Maio 4,

2018, de <https://www.lucidchart.com/pages/process-flow-diagrams>

- Martins, J. C. L., & Belfo, F. (2011). Métodos de investigação qualitativa. Estudos de casos na investigação em sistemas de informação. *Revista Da Academia Militar*, 14, 39–71.
- Melgin, T. (2015). *Increasing information intensity in industrial services: towards Industrial Internet and Industrie 4.0 servitizing industrial OEMs*. Dissertação de Mestrado. Universidade Aalto.
- Melo Thuany, F. (2017). *Adequação das ferramentas essenciais para a qualidade automotiva na IATF 16949 e nos requisitos específicos das montadoras*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Melton, T. (2005). The benefits of lean manufacturing. What lean thinking has to offer the process Industries. *Chemical Engineering Research and Design*, 83, 662–673.
- Moe, T. (1998). Perspective on traceability in food culture. *Trends in Food Science & Technology*, 9, 211–214.
- Monette, F., & Bogart, M. Van. (2009). Track , Trace and Control: High Production Output at Low Costs.
- Moody, D. L. (2009). The “physics” of notations: Towards a scientific basis for constructing visual notations in software engineering. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 35(5), 756–778.
- Morán, H., Mcfarlane, D., & Loucaides, P. (2004). Auto-ID Use Case: Improving Usage and Tracing of Rework Pieces in a Global Food Manufacturer – Impact on Existing Procedures and Information Systems. *Auto-ID Center White Paper CAM-AUTOID-WH-019*, 33.
- Moss, C., Chakrabarti, S., & Scott, D. W. (2013). Parts quality management: Direct part marking of data matrix symbol for mission assurance. In *IEEE Aerospace Conference Proceedings* (pp. 1–12).
- Motorola Solutions. (2011). Quick Reference Guide Traceability for Manufacturing : Must-Knows That Protect You and Your Customer.
- Moura, J. B., Santos, E. A. F. dos, & Oliveira, E. A. (2017). A Engenharia de Produção quanto Gestão e a Rastreabilidade de Produtos Ortopédicos: um Estudo de Caso em uma Indústria de Produtos Ortopédicos. *Revista Unigá*, 32(1), 93–113.
- Narciso, M. G. (2008). Aplicação da tecnologia de identificação por rádiofrequência(RFID) Para Controle de Bens Patrimoniais Pela Web. *Global Science and Technology*, 1(1), 63–76.
- Neagoe, B. S., & Martinescu, I. (2010). The specifics of the application of the Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) in the automotive industry. In *Latest Trends on Engineering Mechanics, Structures, Engineering Geology* (pp. 442–447).
- Oliveira, U. R. de, Paiva, E. J. de, & Almeida, D. A. de. (2010). *Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas*. Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Vol. 20).
- Olsen, P., & Borit, M. (2013). How to define traceability. *Trends in Food Science and Technology*, 29(2), 142–150.
- OMG. (2011). Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0. Consultado a Junho 20, 2018, de <http://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/>

- Ong, N.S., F. W. C. (2004). A real-time workflow tracking system for manufacturing environment. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 6453, 33–43.
- Patti, A. L., & Narsing, A. (2006). Lean and RFID: Friends or foes? In *27th Annual National Conference of the American Society for Engineering Management 2006 - Managing Change: Managing People and Technology in a Rapidly Changing World, ASEM 2006* (Vol. 6, pp. 73–79).
- Pereira, R. (2014). *Rastreabilidade na Indústria das Rolhas*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologias - Universidade Nova de Lisboa.
- Pocinho, M. (2012). *Metodologia de Investigação e Comunicação do Conhecimento Científico* (1ª). Lisboa: Lidel - edições técnicas, Lda.
- Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. (T. F. Press, Ed.). Nova Iorque: The Free Press.
- Prediger, D., Pignaton De Freitas, E., & Silveira, S. R. (2016). Modelo de Aplicabilidade de Sistema RFID para Rastreabilidade na Indústria Alimentícia. *Revista de Sistemas e Computação*, 6(1), 3–14.
- Regan, G., McCaffery, F., McDaid, K., & Flood, D. (2012). The barriers to traceability and their potential solutions: Towards a reference framework. In *38th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications* (pp. 319–322). Izmir, Turkey.
- Reis, C. Y. S. (2014). *Implantação do FMEA de processo em uma linha de montagem de 2º eixo dianteiro dirigível*. Centro Universitário Eurípide de Marília - UNIVEM.
- Robson, C., Watanabe, Y., & Numao, M. (2007). Parts traceability for manufacturers. In *23rd International Conference on Data Engineering* (pp. 1212–1221). Istanbul, Turkey: IEEE.
- Rozhdestvenskiy, D. (2010). *Product Tracking and Direct Parts Marking System Optimization*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Concordia.
- Santana, A., & Massarani, M. (2005). Engenharia do valor associada ao DFMEA no desenvolvimento do produto. In *Society of Automotive Engineers, Inc* (pp. 1–12). São Paulo.
- Savino, M. M., & Xiang, C. (2017). A structured approach to implement product traceability for ISO 9001 : 2015 based on Unified Modeling Language. In *11th International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications (SKIMA)*. Malabe, Sri Lanka: IEEE.
- Segura Velandia, D. M., Kaur, N., Whittow, W. G., Conway, P. P., & West, A. A. (2016). Towards industrial internet of things: Crankshaft monitoring, traceability and tracking using RFID. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 41, 66–77.
- Sharp, K. R. (1990). *Automatic Identification: Making It Pay*. Nova Iorque: Van Nostrand Reinhold Computer.
- Siani, S. R., Correa, D. A., & Casas, A. L. L. C. (2016). Fenomenologia, método fenomenológico e pesquisa empírica: o instigante universo da construção de conhecimento. *Revista de Administração Da UNIMEP*, 14(1), 193–219.
- Silveira, F. L. da. (1989). A filosofia de Karl Popper e suas implicações no Ensino de Ciência. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6(2), 148–162.
- Simons, D., & Zokaei, K. (2005). Application of lean paradigm in red meat processing.

*British Food Journal*, 107, 192–211.

Sivers, R. von, & Sjögren, A. (2013). *Traceability in a Sanitary Ware Production System—A Case Study at Ifö Sanitär*. Lund University.

Souza, J. (2017). O que é um código 2D? Consultado a Março 8, 2018, de <https://www.automatech.com.br/blog/2017/11/21/o-que-e-um-codigo-2d>

Spiegel, R. (2006). Creating a Genealogy. Consultado a Maio 21, 2018, de <https://www.automationworld.com/article/food-and-beverage/creating-genealogy>

Stevenson, R. (2005). *Laser Marking of ECC 200 2D Matrix Codes on Printed Circuit Boards*. Winter Park, FL.

Suh, S., & Huppel, G. (2005). Methods for life cycle inventory of a product. *Journal of Cleaner Production*, 13(7), 687–697.

Töyrylä, I. (1999). *Realising the Potential of Traceability: A Case Study Research on Usage and Impacts of Product Traceability*. (Finnish Academy of Technology, Ed.). Finnish Academy of Technology, Espoo.

UML, O. (2018). UML Multiplicity and Collections. Consultado a Setembro 4, 2018, de <https://www.uml-diagrams.org/multiplicity.html>

Vanany, I., & Rahmawati, N. (2014). Traceability System for Quality Assurance on Make to Order Products. In *Proceedings of the Asia Pacific Industrial Engineering & Management Systems Conference* (pp. 130–136). Jeju, Korea.

Vidgen, R. (2003). Requirements analysis and UML. Use Cases and Class Diagrams. *Computing & Control Engineering*, 14(2), 12–17.

Vilelas, J. (2017). *O processo de construção do conhecimento (2ª)*. Lisboa: Edições Sílabo.

Vinholis, M., & Azevedo, P. (2002). Segurança do alimento e rastreabilidade: o caso BSE. *RAE Eletrônica*, 1(2), 1–19.

Weng, G., Liu, J., He, Y., & Zhuang, C. (2017). Quality Data Collection and Management Technology of Aerospace Complex Product Assembly Process. In *5th International Conference on Computer-Aided Design, Manufacturing, Modeling and Simulation* (Vol. 1834, pp. 1–6). Busan, South Korea: American Institute of Physics.

Westfall, L. (2006). Bidirectional Requirements Traceability. Consultado a Setembro 10, 2018, de [http://www.westfallteam.com/Papers/Bidirectional\\_Requirements\\_Traceability.pdf](http://www.westfallteam.com/Papers/Bidirectional_Requirements_Traceability.pdf)

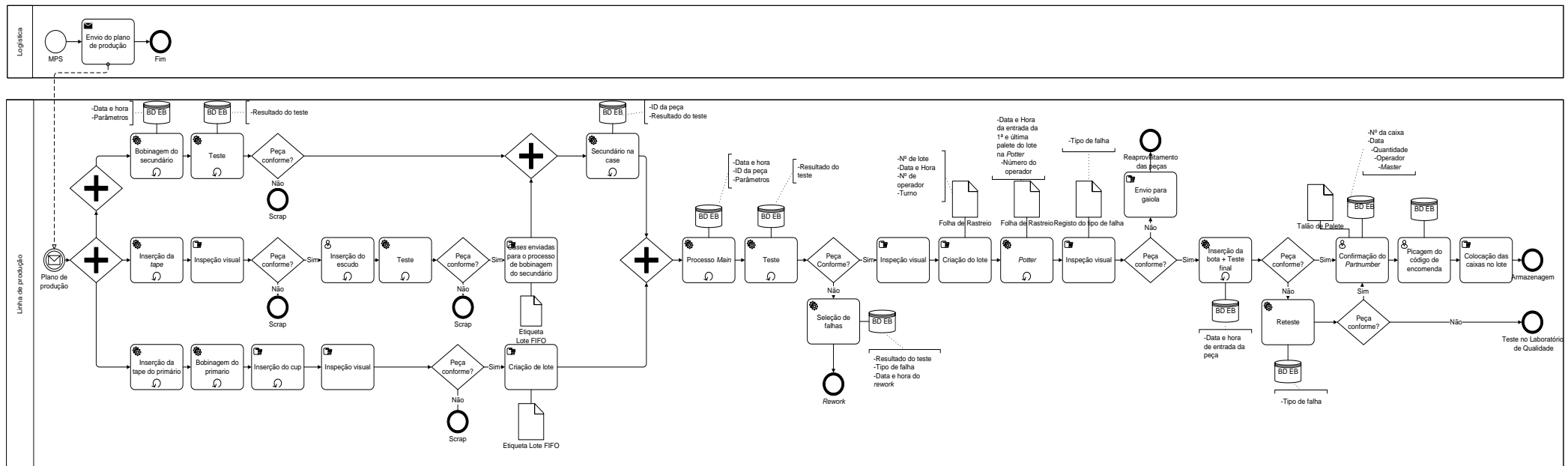
Xavier, F. (2011). QR Code: entenda o que é e como funciona o código. Consultado a Abril 11, 2018, de <http://www.techtudo.com.br/dicas-e-tutoriais/noticia/2011/03/um-pequeno-guia-sobre-o-qr-code-uso-e-funcionamento.html>

Yamashina, H. (2011). Quality Control Workshop 2011 – World Class Manufacturing. In *Quality Control Workshop 2011 – World Class Manufacturing*. Kyoto University: Fellow of RCA (The U.K.).

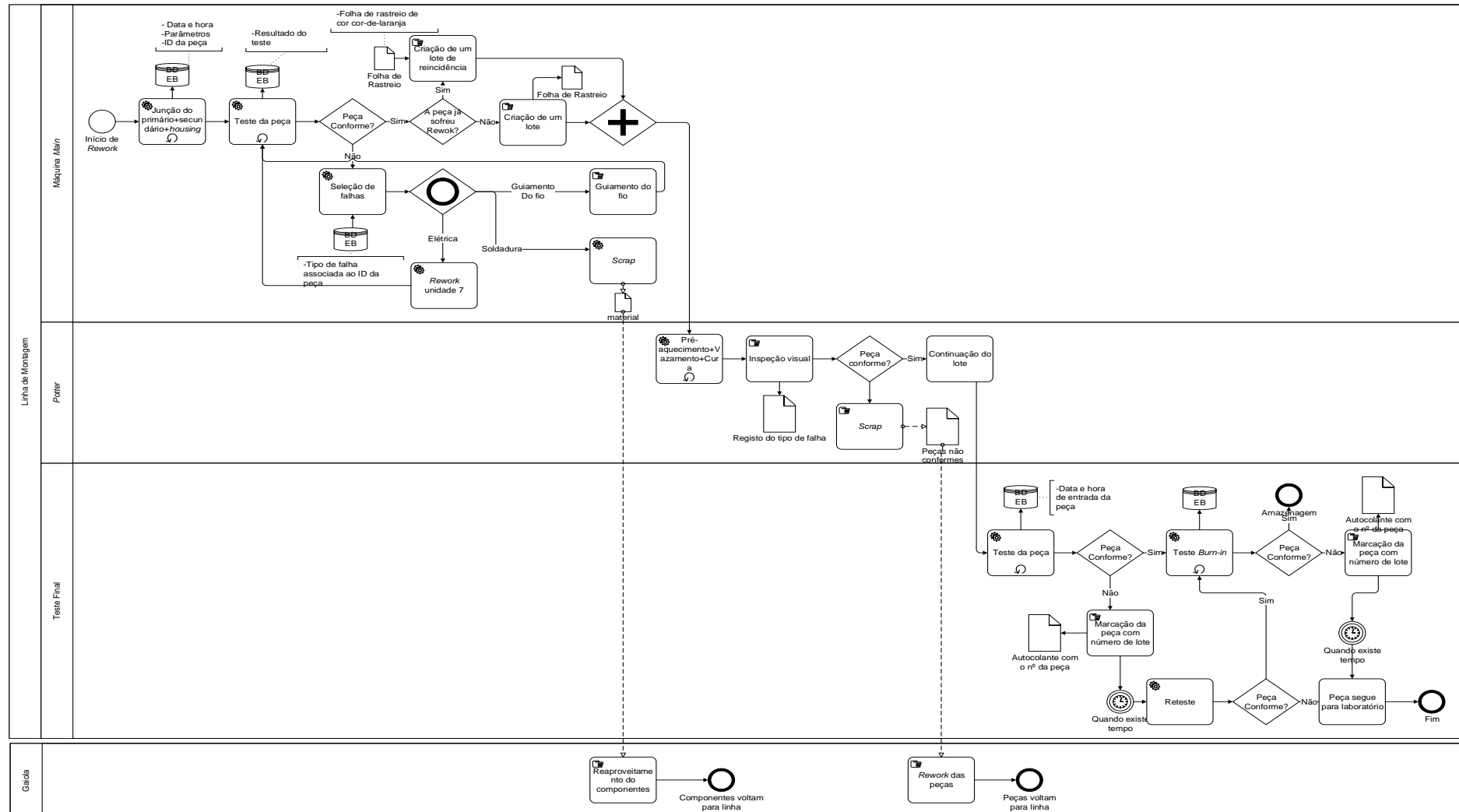
Yu, H., Zhang, D., & Zhang, N. (2012). Quality traceability technology for automotive airbag. In *Proceedings - 2012 5th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2012* (pp. 269–271).

## Anexo

### BPMN Geral as-is



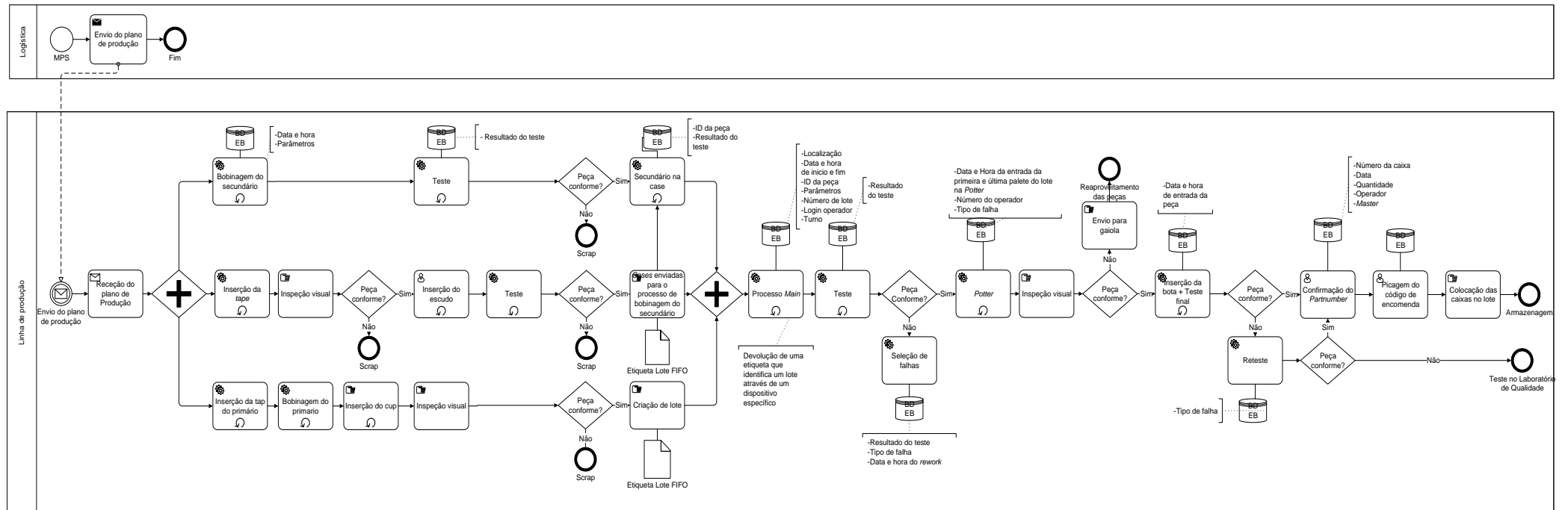
## BPMN retrabalho as-is





# Modelação de um sistema de rastreamento para a melhoria da qualidade de componentes eletrónicos na indústria automóvel

## BPMN Geral *to-be*



## BPMN retrabalho *to-be*

